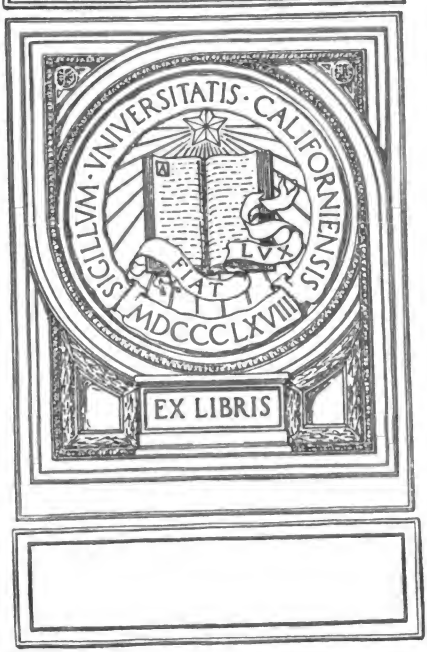
UC-NRLF
B 4 062 744

Digitized by Google

UNIVERSITY OF CALIFORNIA
SAN FRANCISCO LIBRARY



Digitized by Google

Digitized by Google

Grundriß

der

Physik und Meteorologie.

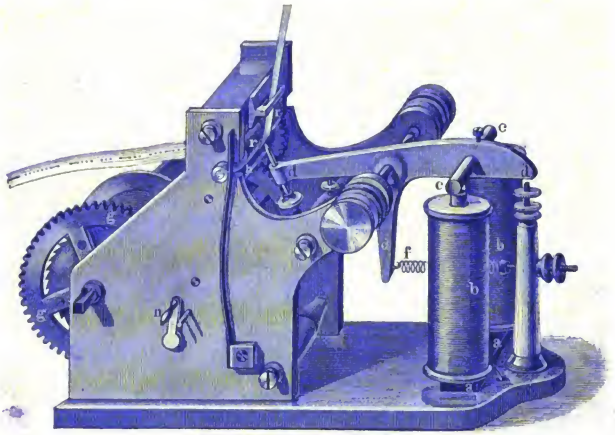
Für

Lyceen, Gymnasien, Gewerbe- und Realschulen, sowie zum Selbstunterrichte.

Von

Dr. Joh. Müller,

Großherzoglich Badischem Hofrath, Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.



Mit 580 in den Text eingedruckten Holzstichen.

Achte vermehrte und verbesserte Auflage.

Zweite Hälfte.

Braunschweig.

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1862.

Digitized by Google

Benachrichtigung.

Da die siebente Auflage dieses Werkes vergriffen, der Druck der achten aber noch nicht vollendet war, so sahen wir uns genöthigt, vorläufig die erste Hälfte auszugeben.

Unserer Zusage gemäß erfolgt hiermit die zweite Hälfte, womit das Buch vollendet ist.

Braunschweig, im Juli 1862.

Friedrich Vieweg und Sohn.

Digitized by Google

QC21
M94
v.2
1862

Vorrede.

Die erste Auflage des vorliegenden »Grundrisses der Physik und Meteorologie« erschien im Frühjahr 1846. Wenn nun jetzt, nach siebenzehn Jahren, bereits eine achte Auflage desselben nöthig geworden ist, so dürfte darin wohl ein Beweis liegen, daß das Werk gerade in dieser Form, bei dieser Behandlungsweise des Gegenstandes dem Zweck entspricht.

Es ist die Aufgabe eines elementaren Lehrbuchs der Naturlehre, die Fundamentalgesetze, mit Beseitigung aller Verwickelungen, welche die Orientirung verwirren, mit Uebergehung aller Specialitäten, welche die Klarheit und Uebersichtlichkeit der Elemente stören könnten, möglichst leicht faßlich, ich möchte sagen, plastisch hinzustellen. Dabei dürfen dem Schüler die physikalischen Wahrheiten durchaus nicht in dogmatisirender Manier als fertige Resultate vorgetragen werden, sondern überall muß ihm die Ableitung der Gesetze klar gemacht werden, er muß den Zusammenhang kennen lernen zwischen den Thatsachen und den aus einer logischen Combination der Thatsachen hervorgegangenen Vorstellungen über die Ursachen und den Zusammenhang der Erscheinungen; kurz der Schüler muß auch im elementaren Unterricht in die physikalische Denk- und Schlußweise eingeführt, mit dem Wesen der inductiven Methode vertraut gemacht werden.

Es ist dies freilich eine schwierige Aufgabe, und ich weiß wohl, daß ich dieselbe in dem vorliegenden Buche nur unvollkommen gelöst habe. Bei der Ausarbeitung jeder folgenden Auflage war ich aber bemüht, mich dem vorgesteckten Ziele mehr und mehr zu nähern, und

41451

Digitized by Google

so ist denn jede folgende Auflage dieses Grundrisses im Vergleich mit der vorhergehenden eine wesentlich verbesserte. Namentlich war ich bemüht, die Ausdrucksweise möglichst zu vollenden und abzurunden, wobei aber mein Bestreben vor allen Dingen auf Klarheit und Verständlichkeit gerichtet war.

Vorzugsweise gilt dies aber für die vorliegende achte Auflage, welche, ohne über den Standpunkt des Werkes hinaus zu gehen, weit mehr mathematisch gehalten worden ist, als dies bei den früheren Auflagen der Fall war, und dadurch gerade hat die Uebersichtlichkeit der vorgetragenen Gesetze wesentlich gewonnen. Die allgemeine Verständlichkeit ist dadurch nicht beeinträchtigt worden, denn die eingeführten Formeln sind, wo irgend möglich, abgeleitet, ihre Bedeutung aber stets genügend erläutert worden. Ferner ist unser Grundriß durch diese mehr mathematische Behandlungsweise in eine innigere Beziehung zu dem mathematischen Supplementband getreten, welcher gleichzeitig mit der siebenten Auflage erschienen ist.

In diesem mathematischen Supplementbande sind einzelne wichtigere Abschnitte der Physik einer eingehenderen mathematischen Behandlung unterworfen worden, und dadurch bildet derselbe nach dieser Seite hin eine Ergänzung des Grundrisses für solche Lehranstalten, welche die mathematischen Disciplinen in ausgedehnterem Maaße cultiviren können.

Um die Correspondenz der Paragraphen des Grundrisses und des Supplementbandes nicht zu stören, mußte die alte Paragraphenordnung vollständig beibehalten werden; deshalb aber mußten hier und da kleine Aenderungen unausgeführt bleiben, welche wohl sonst angezeigt gewesen wären.

Eine wesentliche Umgestaltung hat die Theorie der Volta'schen Säule erfahren, indem als Sitz der elektromotorischen Kraft nur noch die Berührungsstelle der Metalle mit der erregenden Flüssigkeit bezeichnet wird. Dadurch wird die Theorie der Säule weit einfacher, als sie es nach der in den früheren Auflagen des Grundrisses gegebenen Darstellung war.

Einen großen Vorzug glaube ich der neuen Auflage durch die Beigabe einer Sammlung von Aufgaben gesichert zu haben, welche sich den in den einzelnen Paragraphen des Grundrisses vor-

Digitized by Google

getragenen Lehren enge anschließen, und sowohl beim Schulunterricht als auch beim Selbststudium zur Erläuterung und Einübung derselben wesentlich beitragen. Diese Aufgaben, welche sich möglichst gleichförmig über alle Theile der Physik verbreiten, sind zum großen Theil denjenigen Aufgaben des Supplementbandes entnommen, welche sich nur auf das im Grundriß selbst vorgetragene Material beziehen.

Auch durch eine erhebliche Anzahl neugestochener Figuren ist die neue Auflage bereichert worden, und zwar nicht etwa Figuren, welche nur zur Ausschmückung des Werkes dienen, sondern solche, welche in der innigsten Beziehung zum Texte stehen und zur Kenntniß der Apparate und zum Verständniß der vorgetragenen Materien wesentlich beitragen.

Freiburg, im Juli 1862.

J. Müller.

Digitized by Google

Digitized by Google

Inhaltsverzeichniß.

Seite

Einleitung.

1. Begriff . . . 1
2. Eintheilung . . . 2
3. Methode . . . 2
4. Allgemeine Eigenschaften der Körper . . . 3
5. Trägheit . . . 4
6. Schwere . . . 4
7. Gewicht . . . 5
8. Masse . . . 6
9. Specifisches Gewicht . . . 7
10. Theilbarkeit . . . 9
11. Veränderlichkeit des Volumens . . . 9
12. Porosität . . . 9
13. Verschiedene Natur der Atome . . . 10
14. Aggregatzustände . . . 10
15. Kräfte und Imponderabilien . . . 11

Erstes Buch.

Mechanik oder die Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung.

Erstes Capitel.

Zerlegung der Kräfte und Gleichgewicht derselben an einfachen Maschinen.

16. Das Parallelogramm der Kräfte . . . 15
17. Die Rolle . . . 20
18. Der Hebel . . . 23
19. Der einarmige Hebel . . . 26
20. Gleichgewicht am Hebel bei schiefwinklig angreifenden Kräften . . . 28
21. Haspel und Räderwerke . . . 30
22. Die schiefe Ebene . . . 33
23. Die Schraube . . . 35
24. Der Keil . . . 38
25. Schwerpunkt . . . 39
26. Vom Gleichgewicht . . . 41
27. Die Wage . . . 45
28. Die Brückenwage . . . 48

Digitized by Google

Seite

Zweites Capitel.

Gleichgewicht der Theile fester Körper unter einander.

29. Die Molekularkräfte bei festen Körpern 51
30. Elasticität 51
31. Festigkeit 53
32. Adhäsion 57
33. Krystallisation 58

Drittes Capitel.

Hydrostatik oder die Lehre vom Gleichgewicht der Flüssigkeiten.

34. Princip der Gleichheit des Drucks 60
35. Communicirende Gefäße 63
36. Freie Oberfläche der Flüssigkeiten 65
37. Bodendruck der Flüssigkeiten 65
38. Seitendruck 68
39. Druck im Innern der Flüssigkeiten, Auftrieb 69
40. Das archimedische Princip 70
41. Anwendung des archimedischen Princips 73
42. Nicholson's Aräometer 74
43. Scalenaräometer 76
44. Alkoholometer 78
45. Aeltere Aräometerscalen 80

Viertes Capitel.

Molekularwirkungen zwischen festen und flüssigen Körpern, sowie zwischen den einzelnen Theilchen der Flüssigkeiten selbst.

46. Adhäsion zwischen festen und flüssigen Körpern 81
47. Cohäsion der Flüssigkeitstheilchen 81
48. Capillarerscheinungen 83
49. Elasticität der Flüssigkeiten 87
50. Die Endosmose 88

Fünftes Capitel.

Vom Gleichgewicht der Gase und dem atmosphärischen Druck.

51. Schwere der Luft 92
52. Elasticität der Luft 93
53. Druck der Luft 93
54. Messung des Luftdrucks 94
55. Construction des Barometers 96
56. Pumpen 98
57. Der Heber 101
58. Das Mariotte'sche Gesetz 102
59. Die Luftpumpe 105
60. Compressionspumpe 109
61. Der Heronsball 110
62. Die Feuerspritze 111

Digitized by Google

Seite
63. Der Heronsbrunnen 112
64. Messung des Drucks eingeschlossener Gase 113
65. Der Luftballon 115

Sechstes Capitel.

Anziehung zwischen gasförmigen und festen, sowie zwischen gasförmigen und flüssigen Körpern.

66. Absorption der Gase durch feste Körper 117
67 a. Absorption der Gase durch Flüssigkeiten 118
67 b. Diffusion der Gase 119

Siebentes Capitel.

Bewegung fester Körper unter dem Einfluß beschleunigender Kräfte.

68. Ruhe und Bewegung 121
69. Gleichförmige Bewegung 121
70. Beschleunigte und verzögerte Bewegung 122
71. Versuche über das Fallgesetz 124
72. Die Atwood'sche Fallmaschine 125
73. Gleichförmig verzögerte Bewegung 127
74. Wurfbewegung 129
75. Centralbewegung 130
76. Schwungkraft 132
77. Vom Pendel 134
78. Gesetze der Pendelschwingungen 135
79. Das materielle Pendel 138
80. Die Pendeluhr 140
81. Leistung oder Arbeit einer Kraft 141
82. Lebendige Kraft 145
83. Hindernisse der Bewegung 146
84. Nutzen und Anwendung der Reibung 149

Achtes Capitel.

Hydraulik oder die Bewegungsgesetze der Flüssigkeiten.

85. Ausflußgeschwindigkeit 150
86. Versuche über Ausflußgeschwindigkeit 151
87. Ausflußmenge 153
88. Einfluß der Ansatzröhren auf die Ausflußmenge 155
89. Seitendruck bewegter Flüssigkeiten 156
90. Reaction, welche durch das Ausströmen der Flüssigkeiten erzeugt wird . . 157
91. Lebendige Kraft der Wassergefälle 158
92. Verticale Wasserräder 159
93. Horizontale Wasserräder 163
94. Die Wassersäulenmaschine 165

Neuntes Capitel.

Bewegung der Gase.

95. Gasometer 168
96. Gebläse 170

Digitized by Google

Seite
97. Gesetze des Ausströmens der Gase 174
98. Seitendruck der Gase beim Ausströmen 175

Zweites Buch.

Akustik oder die Lehre vom Schall.

Erstes Capitel.

Gesetze der Wellenbewegung im Allgemeinen und der Schallwellen insbesondere.

99. Vibrationsbewegung 179
100. Wasserwellen 181
101. Seilwellen 184
102. Klangfiguren 187
103. Fortpflanzung des Schalles in der Luft 189
104. Geschwindigkeit des Schalles 192
105. Von der Reflexion des Schalles und dem Echo 193

Zweites Capitel.

Gesetze der Vibrationen musikalischer Töne.

106. Bildung stehender Luftwellen in gedeckten Pfeifen 196
107. Orgelpfeifen 200
108. Offene Pfeifen 201
109. Die musikalischen Töne 203
110. Schwingungszahl der musikalischen Töne 205
111. Töne gespannter Saiten 206
112. Gesetze der Vibrationen von Streifen und Stäben 208
113. Von den Zungenpfeifen 209
114. Mittheilung der Schallschwingungen zwischen festen, flüssigen und luftförmigen Körpern 211

Drittes Capitel.

Von der Stimme und dem Gehör.

115. Das Stimmorgan 213
116. Das Gehörorgan 215

Drittes Buch.

Optik oder die Lehre vom Licht.

Erstes Capitel.

Verbreitung des Lichtes.

117. Leuchtende und dunkle Körper 221
118. Schatten und Halbschatten 221
119. Intensität der Erleuchtung in verschiedener Entfernung von der Lichtquelle 224

Digitized by Google

Seite

Zweites Capitel.

Katoptrik oder die Lehre von der Reflexion des Lichtes.

120. Reflexion des Lichtes auf ebenen Flächen 227
121. Anwendungen ebener Spiegel 230
122. Reflexion auf gekrümmten Spiegeln 232
123. Sphärische Hohlspiegel 233
124. Von den durch Hohlspiegel erzeugten Bildern 237
125. Die Converspiegel 240
126. Von den Brennlinien 240

Drittes Capitel.

Dioptrik oder Brechung des Lichtes.

127. Das Brechungsgesetz 242
128. Brechung des Lichtes in Prismen 245
129. Sphärische Linsen 247
130. Sammellinsen 248
130 a. Bestimmung der Vereinigungsweite nicht paralleler Strahlen 251
131. Hohllinsen 253
132. Secundäre Axen 254
133. Von den durch Linsen erzeugten Bildern 255

Viertes Capitel.

Zerlegung des weißen Lichtes.

134. Das weiße Sonnenlicht ist aus verschieden gefärbten Strahlen zusammengesetzt 258
135. Die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen sind ungleich brechbar 259
136. Aus den einfachen Farben des Spectrums läßt sich das weiße Licht wieder zusammensetzen 260
137. Von den complementären Farben 262
138. Die natürlichen Farben der Körper 263
139. Fluorescenz und Phosphorescenz 264
140. Von der zerstreuenden Kraft verschiedener Substanzen 267
141. Achromatische Prismen und Linsen 268

Fünftes Capitel.

Vom Auge und den optischen Instrumenten.

142. Das Gesichtsorgan 271
143. Einfache Augen mit Sammellinsen 272
144. Deutliches Sehen in verschiedenen Entfernungen 273
145. Weite des deutlichen Sehens, Kurzsichtigkeit und Fernsichtigkeit 274
146. Beziehungen zwischen den Empfindungen des Auges und der Außenwelt 276
147. Sehen mit zwei Augen 278
148. Gränzen der Sichtbarkeit 279
149. Dauer des Lichteindruckes 280
150. Farbige Nachbilder 281
151. Contrastfarben 282
152. Die camera obscura 283
153. Die Loupe oder das einfache Mikroskop 284

Digitized by Google

Seite
154. Das Sonnenmikroskop 287
155. Das zusammengesetzte Mikroskop 288
156. Dioptrische Fernröhre 289
157. Spiegelteleskope 294

Sechstes Capitel.

Interferenzerscheinungen.

158. Hypothesen über das Wesen des Lichtes 296
159. Elemente der Vibrationstheorie 297
160. Interferenz der Lichtstrahlen 299
161. Die Beugung des Lichtes 301
162. Länge der Lichtwellen 303
163. Farben dünner Blättchen 304
164. Polarisation des Lichtes 306
165. Doppelte Brechung 311

Siebentes Capitel.

Chemische Wirkungen des Lichtes.

166. Einfluß des Lichtes auf chemische Verbindungen und Zersetzungen . . . 315
167. Photographie 316

Viertes Buch.

Die elektrischen Erscheinungen.

Erstes Capitel.

Vom Magnetismus.

168. Anziehung des Eisens durch Magnete 321
169. Magnetische Polarität 322
170. Magnetisirung des Eisens durch Magnete 322
171. Magnetische Flüssigkeiten 323
172. Verschiedene Formen künstlicher Magnete 325
173. Magnetisirung von Stahlnadeln und Stahlstäben 327
174. Richtung der Magnete, Declination, Inclination 327
175. Variationen der Declination und Inclination 331
176. Intensität des Erdmagnetismus 332
177. Einfluß des Erdmagnetismus auf das Eisen 333
178. Abnahme der magnetischen Effecte mit der Entfernung 334

Zweites Capitel.

Von der Reibungselektricität.

179. Es giebt Körper, welche durch Reiben die Eigenschaft erlangen, leichte Körper anzuziehen 337
180. Leiter und Nichtleiter 338
181. Von den beiden Arten der Elektricität 339
182. Von den elektrischen Flüssigkeiten und dem natürlichen Zustande der Körper 340

Digitized by Google

Seite
183. Elektrische Vertheilung . . . 341
184. Das Elektrometer . . . 342
185. Der elektrische Funken . . . 344
186. Das Elektrophor . . . 345
187. Die Elektrisirmaschine . . . 346
188. Die Dampfelektrisirmaschine . . . 349
189. Abnahme der elektrischen Wirkungen mit zunehmender Entfernung . . . 352
190. Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche leitender Körper . . . 353
191. Gebundene Elektricität . . . 355
192. Die Leydner Flasche . . . 357
193. Der Condensator . . . 360
194. Das elektrische Licht in der Luft und in anderen Gasen . . . 361
195. Elektrisches Licht im verdünnten Raume . . . 363
196. Der elektrische Geruch . . . 364
197. Bewegungen, welche durch das Ausströmen von Elektricität hervorgebracht werden . . . 364
198. Bewegungen durch den elektrischen Rückschlag . . . 365

Drittes Capitel.

Vom Galvanismus.

199. Galvani's Entdeckung . . . 366
200. Volta's Fundamentalversuch . . . 367
201. Die elektromotorische Kraft . . . 368
202. Die Volta'sche Säule . . . 370
203. Die trockene Säule . . . 373
204. Verschiedene Formen der galvanischen Kette . . . 373
205. Die constanten Säulen . . . 375
206. Bestimmung der Pole und der Stromesrichtung einer Becher säule . . . 377
207. Physiologische Wirkungen der Säule . . . 378
208. Licht- und Wärmeerzeugung durch galvanische Ströme . . . 379
209. Galvanische Wasserzersetzung . . . 379
210. Elektrolyse der Alkalien und Erden . . . 383
211. Elektrolyse der Salze . . . 383
212. Praktische Benutzung der chemischen Wirkung des Stromes . . . 386
213. Elektrochemische Theorie . . . 388
214. Das elektrolytische Gesetz . . . 390
215. Theorie der constanten Ketten . . . 391
216. Theorie der Säule . . . 392
217. Magnetische Wirkungen des galvanischen Stromes . . . 393
218. Der Multiplicator . . . 395
219. Die Tangentenbussole . . . 398
220. Kraft der galvanischen Kette . . . 399
221. Das Ohm'sche Gesetz . . . 401
222. Leitungsfähigkeit der Metalle . . . 405
223. Leitungswiderstand der Flüssigkeiten . . . 406
224. Vergleichung verschiedener Rheomotoren . . . 407
225. Magnetisirung durch den galvanischen Strom . . . 408
226. Elektromagnetische Motoren . . . 410

Digitized by Google

Seite
227. Elektrische Telegraphen 411
228. Richtung der Ströme durch Magnete 415
229. Gegenseitige Wirkung galvanischer Ströme auf einander 416
230. Ampère's Theorie des Magnetismus 418
231. Rotation beweglicher Ströme und Magnete 419

Viertes Capitel.

Inductionserscheinungen.

232. Induction im Nebendrahte 421
233. Einwirkung der Windungen auf einander 426
234. Induction elektrischer Ströme durch Magnete 426
235. Magnetoelektrische Rotationsmaschine 428
236. Diamagnetismus 431

Fünftes Capitel.

Thermoelektrische Ströme und thierische Elektricität.

237. Thermoelektrische Elemente 434
238. Thermoelektrische Säulen 436
239. Thierische Elektricität 437

Fünftes Buch.

Von der Wärme.

Erstes Capitel.

Ausdehnung.

240. Wirkungen der Wärme 441
241. Das Thermometer 441
242. Ausdehnung fester Körper 445
243. Die cubische Ausdehnung 448
244. Ausdehnung der Flüssigkeiten 449
245. Ausdehnung der Gase 450

Zweites Capitel.

Veränderung des Aggregatzustandes.

246. Das Schmelzen 453
247. Gebundene Wärme 454
248. Das Erstarren 456
249. Dampfbildung 457
250. Maximum der Spannkraft der Dämpfe 458
251. Einfluß der Temperatur auf die Spannkraft des gesättigten Dampfes . 461
252. Messung der Spannkraft der Wasserdämpfe 462
253. Der Dampfkessel 466
254. Die Dampfmaschine 468
255. Niederdruckmaschinen 474
256. Die Locomotive 477
257. Berechnung des Effects der Dampfmaschinen 480

Digitized by Google

Seite
258. Abhängigkeit des Siedepunktes vom Drucke 482
259. Siedepunkte verschiedener Flüssigkeiten 485
260. Verdunstung 485
261. Latente Wärme der Dämpfe 486
262. Erzeugung von Kälte durch Verdampfung 490

Drittes Capitel.

Specifische Wärme der Körper.

263. Begriff der specifischen Wärme 492
264. Resultate der Versuche über die specifische Wärme 494
265. Specifische Wärme der Gase 495

Viertes Capitel.

Fortpflanzung der Wärme.

266. Strahlende Wärme 496
267. Wärmestrahlungsvermögen der Körper 499
268. Absorption der Wärmestrahlen 499
269. Reflexion und Diffusion der Wärmestrahlen 500
270. Fähigkeit der Körper, Wärmestrahlen durchzulassen 501
271. Wärmeverhältnisse des Sonnenspectrums 503
272. Verbreitung der Wärme durch Leitung 504
273. Wärmeleitungsfähigkeit der Flüssigkeiten und Gase 505

Fünftes Capitel.

Quellen der Wärme.

274. Wärmeerzeugung durch chemische Verbindungen 507
275. Thierische Wärme 508
276. Wärmeentwickelung durch mechanische Mittel 509
277. Theoretische Ansichten über die Wärme 509

Sechstes Buch.

Meteorologie.

Erstes Capitel.

Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche.

278. Die Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen 513
279. Die fünf Zonen 514
280. Die täglichen Variationen der Lufttemperatur 515
281. Die Jahreszeiten 515
282. Modificationen normaler Temperaturverhältnisse 518
283. Mittlere Temperatur der Tage, der Monate und des Jahres 519
284. Jahresisothermen 521
285. Isotheren und Isochimenen 525
286. Land- und Seeklima 527
287. Ursachen der Biegung der Isothermen 528
288. Temperatur des Bodens 530
289. Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen 531

Digitized by Google

Seite

Zweites Capitel.

Die Atmosphäre, ihr Druck und ihre Strömungen.

290. Die Lufthülle der Erde 533
291. Variationen des Barometerstandes 534
292. Ursachen der Barometerschwankungen 535
293. Entstehung der Winde 537
294. Passatwinde und Moussons 538
295. Winde in höheren Breiten 540
296. Gesetz der Winddrehung 541
297. Stürme 542

Drittes Capitel.

Von der atmosphärischen Feuchtigkeit.

298. Verbreitung des Wasserdampfes in der Luft 545
299. Daniell's Hygrometer 546
300. August's Psychrometer 548
301. Tägliche und jährliche Variationen im Wassergehalte der Luft 548
302. Feuchtigkeit der Luft in verschiedenen Gegenden 550
303. Der Thau 550
304. Nebel und Wolken 551
305. Regenmenge 554
306. Regen zwischen den Wendekreisen 556
307. Schnee und Hagel 557

Viertes Capitel.

Optische Erscheinungen der Atmosphäre.

308. Farbe des Himmels 560
309. Der Regenbogen 562
310. Höfe und Nebensonnen 565
311. Irrlichter 566
312. Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine 567

Fünftes Capitel.

Von der atmosphärischen Elektricität und dem Erdmagnetismus.

313. Entdeckung der atmosphärischen Elektricität 569
314. Elektricität während der Gewitter 570
315. Wirkungen des Blitzes auf der Erde 571
316. Die Blitzableiter 573
317. Die magnetischen Curven 575
318. Das Nordlicht 579

Anhang.

Verhältniß des neueren französischen Maaßsystems zu anderen Maaßsystemen 582
Tabelle der specifischen Gewichte fester Körper 586
Specifisches Gewicht einiger Flüssigkeiten 587
Specifisches Gewicht einiger Gase 587
Aufgaben 588

Digitized by Google

Erstes Capitel.

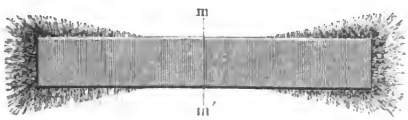
Vom Magnetismus.

Anziehung des Eisens durch Magnete. Man findet im 168
Schoße der Erde gewisse Eisenerze, die man Magneteisensteine nennt und welche öfters die Eigenschaft haben, Eisen anzuziehen, in welchem Falle sie den Namen der natürlichen Magnete führen. Das Magneteisen ist eine Verbindung von Eisenoxyd mit Eisenoxydul. Dem Eisen läßt sich dieselbe Eigenschaft vorübergehend, dem gehärteten Stahle läßt sie sich bleibend mittheilen; solche aus Stahl verfertigte Magnete heißen künstliche Magnete. Um die Gesetze des Magnetismus zu untersuchen, wendet man am besten künstliche Magnete an, weil man ihnen leicht eine zweckmäßige Form geben kann. Gewöhnlich haben die künstlichen Magnete die Gestalt von Stäben, Nadeln oder von Hufeisen.

Taucht man einen Magnetstab in Eisenfeilspäne, so wird man sehen, daß sie sich an denselben anhängen, daß sie aber nicht überall gleich gut hängen bleiben; in der Mitte des Stabes fallen sie gleich ab; hier scheint der Magnetstab gar keine anziehende Wirkung auf die Feilspäne auszuüben; diese neutrale Stelle wird die Mittellinie genannt. Von ihr nach den Enden, den Polen des Magnets hin, nimmt die anziehende Kraft zu, indem hier mehr und mehr Feilspäne hängen bleiben, wie dies Fig. 357 andeutet.

Man sollte auf den ersten Anblick meinen, daß, wenn man einen Magnet in der Mitte durchbricht (mit einem magnetisirten Stahldrahte kann man den Versuch leicht anstellen), alsdann jedes einzelne Stück kein vollständiger Magnet mehr sein, daß es nur an dem einen Ende Eisen anziehen könnte, am anderen aber nicht; der Versuch zeigt aber das Gegentheil: jedes Stück ist wieder ein vollständiger Magnet, welcher seine Mittellinie und seine Pole hat.

Fig. 357.



Digitized by Google

169 **Magnetische Polarität.** Die Fig. 358 stellt einen Magnetstab dar, welcher, in einer Kapsel von Papier oder Metall liegend, horizontal aufgehangen ist. Wenn man nun denselben Pol eines andern Magnets den Polen *a* und *b* nähert, so findet man, daß der eine, etwa *a*, angezogen, *b* aber abgestoßen wird. Man nennt nun die Pole *a* und *b* ungleichnamig, weil sie sich verschieden gegen denselben ihnen genäherten Pol verhalten. Wenn man nun den Magnet, den man in der Hand hält, umkehrt, um seinen anderen Pol dem aufgehängten zu nähern, so wird das Umgekehrte stattfinden: *a* wird abgestoßen und *b* angezogen. Die beiden Pole des bei diesem Versuche in der Hand gehaltenen Magnets sind also auch verschiedener Natur, sie sind auch ungleichnamig. Ebenso läßt sich zeigen, daß die beiden Pole eines jeden Magnets ungleichnamig sind.

Fig. 358.

Nähert man dem aufgehängten Magnete noch einander zwei verschiedene Magnete, so wird es leicht sein, an jedem derselben denjenigen Pol zu finden, welcher den Pol *a* des aufgehängten Magnets anzieht, *b* aber abstößt. Bezeichnen wir diesen Pol des ersten Magnets mit *n*, den Pol des zweiten Magnets aber, welcher eben so wirkt, mit *n'*, so sind *n* und *n'* die gleichnamigen Pole dieser beiden Magnete. Ebenso sind die beiden anderen Pole *m* und *m'* dieser beiden Magnete gleichnamig.

Hängt man jetzt den Magnet, dessen Pole wir mit *m* und *n* bezeichnet haben, so auf, daß er sich in einer horizontalen Ebene frei drehen kann, nähert man ihm den anderen, so findet man, daß sich die Pole *m* und *m'* abstoßen; dasselbe Verhalten findet zwischen den Polen *n* und *n'* Statt, die gleichnamigen Pole stoßen sich also ab. Dagegen ziehen sich die ungleichnamigen Pole *m* und *n'*, *n* und *m'* einander an.

In den beiden Hälften also, in welche ein Magnet durch die Mittellinie zerlegt wird, wirken also zwei Kräfte, welche anfangs ganz gleichartig scheinen, weil sie auf gleiche Weise auf das Eisen wirken, die aber in der That zwei ganz entgegengesetzte Kräfte sind. Die Mittellinie ist also die Gränze zweier entgegengesetzter Kräfte, sie bildet den Uebergang von der einen zur anderen, und darin liegt auch die Ursache ihrer neutralen Beschaffenheit.

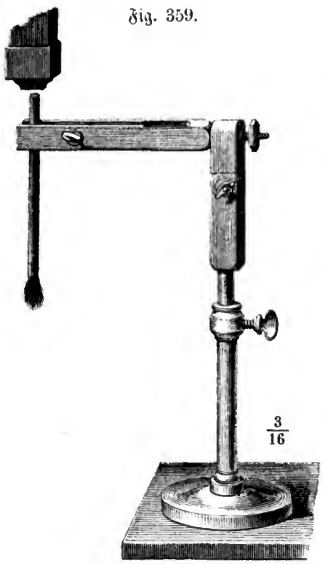
Aus Gründen, die wir weiter unten kennen lernen, nennt man den einen Pol des Magnets den Nordpol, den anderen den Südpol.

170 **Magnetisirung des Eisens durch Magnete.** Wenn ein ungefähr 2 Linien dickes Eisenstäbchen durch ein passendes Stativ so in verticaler Stellung festgehalten wird, wie es Fig. 359 zeigt, und man den Pol eines kräftigen Magnets darüber hält (ohne jedoch das Eisenstäbchen zu berühren), so wird das Eisenstäbchen selbst zum Magnet, wie sich daraus ergiebt, daß an seinem unteren Ende Eisenfeile, selbst

Digitized by Google

kleine Nägel hängen bleiben. Daß dies nicht etwa eine unmittelbare Fernewirkung des darüber gehaltenen Magnets ist, geht daraus hervor, daß die Eisenfeilspäne an dem Stäbchen nicht hängen bleiben, wenn es nicht von Eisen, wenn es etwa von Messing oder von Holz ist.

Fig. 359.



Sobald man den magnetisirenden Pol langsam entfernt, verliert sich auch der Magnetismus des Eisenstäbchens wieder, die bis dahin getragenen Feilspäne fallen herab.

Da also ein an einem Magnetpol angehängtes Eisenstäbchen selbst zu einem Magnet wird, so kann es ein zweites tragen; an das zweite kann man ein drittes und so fort eine größere oder kleinere Kette anhängen, wie Fig. 360 erläutert.

Fig. 360.

Magnetische Flüssigkeiten. Um die verschiedenen Erscheinungen des Magnetismus zu erklären, nimmt man an, daß es zwei verschiedene unwägbare (imponderabele) magnetische Flüssigkeiten gebe, welche in einer sogleich näher zu betrachtenden Weise in einem Magnete vertheilt sind; die Theilchen einer jeden Flüssigkeit stoßen einander ab, sie ziehen aber die Theilchen der entgegengesetzten an. 171

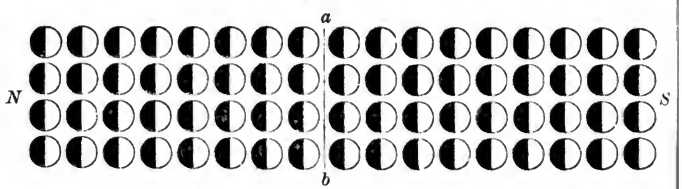
Man denkt sich nun, daß jedes Eisentheilchen beide Flüssigkeiten in gleicher Menge enthält, daß sie aber schon geschieden sind, so daß jedes Eisenmolekül ein- für allemal einen kleinen Magnet bildet. — So lange ein Eisenstab nicht magnetisch ist, liegen diese Molekularmagnete regellos durch einander, so daß etwa der Nordpol des einen nach derselben Seite gerichtet ist, wie der

Digitized by Google

Südpol des benachbarten, daß also, was die Wirkung in die Ferne betrifft, der eine Molekularmagnet die Wirkung des anderen aufhebt.

Sobald nun aber eine magnetisirende Kraft auf den Eisenstab wirkt, so hat diese ein Bestreben, die Molekularmagnetchen so zu stellen, daß in allen die gleichnamigen Pole nach der gleichen Seite gerichtet sind. Nach dieser Hypothese nun stellt Fig. 361 einen vollständig magnetisirten Stahl- oder Eisen-

Fig. 361.



stab dar. Durch diese Vorstellungsweise ist nun die Polarität des Magnets erklärt, und man begreift zugleich, wie es kommt, daß, wenn man einen Magnet in Theile zerbricht, alsdann jedes Stück wieder für sich ein vollständiger Magnet sein muß.

Wenn also ein Stück Eisen durch den Einfluß eines Magnets magnetisirt wird, so geht kein magnetisches Fluidum vom Magnet auf das Eisen über, sondern die Nähe des Magnets veranlaßt bloß eine gleiche Richtung sämmtlicher Molekularmagnete.

Das Eisen behält nur so lange seine magnetischen Eigenschaften, als die Nähe eines Magnets die Molekularmagnete gleich gerichtet erhält; sobald der Magnet entfernt wird, kehren die Molekularmagnetchen wieder in ihre vorige regellose Lage, das Eisen kehrt in seinen natürlichen Zustand zurück.

Der Stahl widersteht dem magnetisirenden Einflusse eines Magnets weit stärker als Eisen, d. h. durch Annäherung eines Magnets wird ein Stahlstück, namentlich wenn es etwas groß ist, nicht gleich so stark magnetisch wie ein Eisenstück. Wiederholt man den durch Fig. 359 dargestellten Versuch, nachdem man das Eisenstäbchen durch ein gehärtetes Stahlstäbchen von gleicher Größe ersetzt hat, so werden kaum einige Feilspänchen an dem unteren Ende des Stahlstäbchens hängen bleiben, während sich unter gleichen Umständen an das Eisenstäbchen ein ganzes Bündel Eisenfeile anhing. Um einen Stahlstab einigermaßen stark zu magnetisiren, muß man ihn längere Zeit mit dem Magnet in Berührung lassen, oder er muß mit demselben mehrmals in geeigneter Weise gestrichen werden; wenn aber der Stahl einmal magnetisch ist, so verliert er diese Eigenschaft auch so leicht nicht wieder; man kann also von Stahl bleibende Magnete machen, aber nicht von Eisen.

Am schwersten läßt sich vollkommen gehärteter Stahl magnetisiren; er verliert aber auch, wenn er einmal magnetisch ist, diese Eigenschaft nicht leicht

Digitized by Google

wieder. Wenn man dem gehärteten Stahle durch Anlassen seine Härte mehr und mehr nimmt, so nähert er sich in seinem Verhalten gegen den Magnetismus mehr und mehr dem weichen Eisen.

Weißglühendes Eisen wird von einem Magnet nicht mehr angezogen, wohl aber rothglühendes. Ein Stahlmagnet verliert durch Glühen seine magnetischen Eigenschaften vollständig.

Außer Eisen können auch Nickel und Kobalt magnetisch werden.

Verschiedene Formen künstlicher Magnete. Je nach den 172
verschiedenen Zwecken giebt man den Stahlmagneten verschiedene Formen, nämlich die von Magnetnadeln, welche in §. 174 näher besprochen werden, von Stäben oder endlich, wenn es sich um große Tragkraft handelt, von Hufeisen.

Fig. 362 stellt einen zusammengesetzten Hufeisenmagnet dar. Er besteht aus mehreren einfachen hufeisenförmig gebogenen magnetisirten Stahlplatten, welche mit ihren gleichnamigen Polen auf einander gelegt und durch Schranben zusammengehalten werden. Eine an beide Pole angelegte Platte sn von weichem Eisen bildet den Anker, an welchen man mittelst einer Wagschale weitere Gewichte anhängen kann.

Fig. 362.

Die Tragkraft eines zusammengesetzten Magnets ist keineswegs der Summe der Tragkräfte der einzelnen Lamellen gleich, aus denen er zusammengesetzt ist, sondern sie ist weit geringer. Der Grund davon ist leicht einzusehen. Legt man zwei gleichgeformte Stahlmagnete mit ihren gleichnamigen Polen auf einander, so strebt jeder die Polarität des andern umzukehren, was nothwendig eine gegenseitige Schwächung der magnetischen Kraft zur Folge hat. So kommt es denn auch, daß die Tragkraft der Hufeisenmagnete in weit geringerem Verhältnisse wächst, als ihre Masse. Ein guter 4-löthiger Hufeisenmagnet kann das 25fache, ein 100pfündiger kann nicht einmal das 3fache seines eigenen Gewichts tragen.

Dagegen ist die Gesammttragkraft eines Hufeisenmagnets weit größer als die Summe der Tragkräfte der einzelnen Pole. Während z. B. ein Hufeisenmagnet 12 Pfund trug, wenn der Anker mit beiden Polen in Berührung war, wie in Fig. 362, konnte der einzelne Pol nur 2 Pfund tragen.

Es läßt sich dies leicht erklären. Wenn der Anker, wie in Fig. 362, mit beiden Polen des Hufeisenmagnets in Berührung ist, so wird er natürlich weit kräftiger magnetisirt, als wenn er nur mit dem einen Pol in Berührung stände; denn der in n durch den Magnetpol S erzeugte Nordpol wird durch den magne-

Digitized by Google

tisirenden Einfluß verstärkt, welchen der Pol N auf den Anker ausübt. Ebenso wird in s ein Südpol erzeugt, nicht allein durch den Einfluß des Pols N, sondern auch durch den von S.

Durch die Vermittelung des Ankers wirkt also der Pol N auch verstärkend auf S und umgekehrt S auf N. Dadurch erklärt es sich auch, daß die Tragkraft von Hufeisenmagneten, welche durch einen Anker längere Zeit geschlossen bleiben, oft noch zunimmt, während umgekehrt ein Abreißen des Ankers meist eine Schwächung der magnetischen Kraft zur Folge hat.

Legt man an die beiden Polflächen eines natürlichen Magnets die Eisenplatten l und l' (die Flügel), Fig. 363 und 364, welche in den Füßen

Fig. 363.

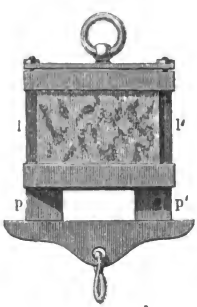
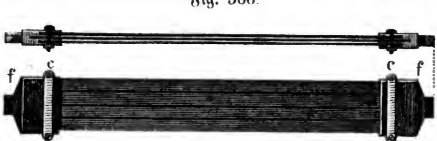


Fig. 364.

Fig. 365.

Fig. 366.



p und p' endigen, so werden in p und p' ungleichnamige magnetische Pole erzeugt, an welche man einen Anker anlegen kann, wie an die Pole eines Hufeisenmagnets. Eine solche an einem natürlichen oder auch an einem künstlichen Magnet angebrachte Eisenfassung wird als Armatur des Magnets bezeichnet.

Um den Magnetismus in Magnetstäben ungeschwächt zu erhalten, legt man sie in der Weise parallel neben einander (Fig. 365), daß der Nordpol des einen und der Südpol des anderen nach derselben Seite gerichtet sind, und fügt

Digitized by Google

alsdann die Eisenstücke ab und cd so an, daß dadurch ein geschlossenes Rechteck gebildet wird. Die Wirkung der Eisenplatten ab und cd ist hier ganz dieselbe wie die des Ankers beim Hufeisenmagnet.

Um mehrere einfache Magnetstäbe zu einem magnetischen Magazin zu verbinden, werden einerseits alle Nordpole, andererseits alle Südpole in einem eisernen Schuh befestigt, wie Fig. 366 zeigt.

Magnetisirung von Stahlnadeln und Stahlstäben. Um 173
einen Stahlstab zu magnetisiren, muß man ihn wiederholt an den Polen eines kräftigen Magnets streichen, und zwar ist es am zweckmäßigsten, die eine Hälfte des Stabes (oder den einen Schenkel der hufeisenförmigen Lamelle), deren Ende ein Nordpol werden soll, an dem Südpol, die andere Hälfte des Stabes aber (oder den anderen Schenkel der hufeisenförmigen Lamelle) am Nordpol des magnetisirenden Magnets zu streichen. Man verfährt dabei in der Weise, daß man den zu magnetisirenden Stab immer mit seiner Mitte auf den Magnetpol aufsetzt und das Stabende von demselben Pole abzieht.

Die magnetisirende Kraft des stärksten Stahlmagnets ist aber zu gering, um auf diese Weise etwas größere und gut gehärtete Stahlstäbe einigermaßen stark zu magnetisiren. Man hat deshalb verschiedene complicirtere Streichmethoden in Anwendung gebracht, welche jedoch durch die Erfindung der Elektromagnete entbehrlich wurden, da die Pole derselben eine hinlängliche magnetisirende Kraft besitzen, um nach dem oben angegebenen Verfahren auch große und wohlgehärtete Stahlstäbe kräftig zu magnetisiren.

Richtung der Magnete, Declination, Inclination. Ein 174
Magnetstab, welcher aufgehängt ist, wie Fig. 367 zeigt, oder eine Magnetnadel, wie sie Fig. 368 darstellt, in deren Mitte ein Hütchen von Achat oder

Fig. 367.

Fig. 368.

Stahl angebracht ist, welches auf einer Stahlspitze spielt, kann sich nur in horizontaler Ebene frei drehen, weil der Schwerpunkt der Vorrichtung unter dem Aufhängepunkte liegt. — Eine solche Nadel oder ein solcher Stab zeigt nun

Digitized by Google

stets ein Bestreben, eine bestimmte Lage anzunehmen, d. h. immer nach einem bestimmten Punkte des Horizontes hinzuzeigen. Bringt man die Magnetnadel, in horizontaler Ebene sie drehend, aus dieser Gleichgewichtslage heraus, so wird sie nach einigen Oscillationen stets wieder in dieselbe zurückkehren, wenn die störende Ursache zu wirken aufgehört hat.

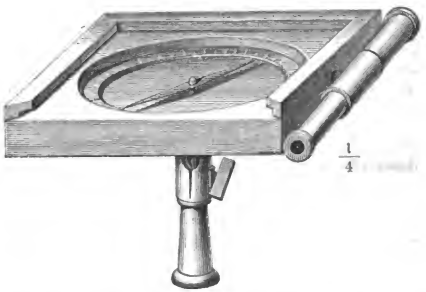
In unseren Gegenden macht die Richtung der horizontalen Magnetnadel einen Winkel von 17 bis 18 Graden mit dem astronomischen Meridian, und zwar ist es immer ein und derselbe Pol, welcher das Nordende der Nadel bildet, und welcher deshalb der Nordpol genannt wird, während der andere Pol, welcher nach Süden (oder vielmehr nach Süd-Süd-Ost) weiset, den Namen des Südpols führt.

Daraus geht hervor, daß die ganze Erde eine magnetische Wirkung ausübt, und daß diese magnetische Erdkraft richtend auf die Magnetnadel wirkt.

Der magnetische Meridian ist diejenige verticale Ebene, welche man sich durch die Richtungslinie einer horizontalen Magnetnadel gelegt denken kann, oder auch nur der Durchschnitt dieser Ebene mit der Erdoberfläche. Der magnetische Meridian eines Ortes macht nun mit dem astronomischen Meridian einen Winkel, welchen man die Declination oder Abweichung nennt. Die Declination ist östlich oder westlich, je nachdem die Magnetnadel nach der einen oder nach der anderen Seite des astronomischen Meridians abweicht. Wenn, Fig. 369, z. B. sn den astronomischen, ab aber den magnetischen Meridian eines Ortes darstellt, so ist hier die Declination eine westliche. Die westliche Declination betrug zu Göttingen im Januar 1837 $18^0\ 37'\ 30{,}55''$; wir werden bald sehen, daß die Declination mit der Zeit sich ändert. Es giebt Orte auf der Erde, wo die Richtung der Magnetnadel vollständig mit dem Meridian zusammenfällt; an diesen Orten ist natürlich die Declination gleich Null.

Fig. 369.

Fig. 370.



Jeder Apparat, welcher dazu dient, die Declination zu messen, heißt eine Declinationsbussole.

Fig. 370 stellt eine solche Bussole ziemlich einfacher Art vor. Die Spitze, auf welche die Nadel aufgesetzt ist, bildet den Mittelpunkt eines getheilten Hori-

Digitized by Google

zontalkreises, welcher um eine verticale Axe in seiner eigenen Ebene umgedreht werden kann. An der Seite des Gehäuses ist ein Fernrohr angebracht, dessen Axe mit derjenigen Linie parallel läuft, welche man sich vom Nullpunkte des getheilten Kreises über seinen Mittelpunkt zum Theilstriche 180° gezogen denken kann. Je nachdem man den Horizontalkreis in seiner Ebene umdreht, wird die Spitze der Magnetnadel an andere Theilstriche zu stehen kommen. Wenn man den Apparat so stellt, daß die Nadel gerade auf den Nullpunkt der Theilung zeigt, so ist die Axe des Fernrohres mit der Nadel parallel, sie fällt mit dem magnetischen Meridian zusammen; bei jeder anderen Stellung aber zeigt die Nadel auf denjenigen Theilstrich des Kreises, welcher angiebt, wie viel Grade der Winkel beträgt, welchen die Richtung der Nadel mit der Axe des Fernrohres (oder vielmehr mit der Horizontalprojection der Fernrohraxe) macht; wenn man also das Fernrohr genau in den astronomischen Meridian bringt, so kann man auf dem Theilkreise ablesen, wie groß der Winkel zwischen dem magnetischen Meridian und dem astronomischen ist.

Dieses Instrument kann nun überhaupt als Winkelmeßinstrument dienen, weil man mit Hülfe desselben jederzeit den Winkel bestimmen kann, welchen die Visirlinie des Fernrohres (oder vielmehr ihre Horizontalprojection) mit dem magnetischen Meridiane macht.

Die Declinationsbussole, deren sich die Seefahrer bedienen, ist unter dem Namen des Compasses bekannt.

Die Magnetnadeln, welche wir bisher betrachtet haben, sind in einer Weise aufgehängt, daß sie sich nur in einer horizontalen Ebene, also um eine verticale Axe drehen können. Sowohl bei der in Fig. 367, als auch bei der in Fig. 368 dargestellten Aufhängung ist die horizontale Stellung dadurch gesichert, daß der Schwerpunkt der Nadel unter dem Aufhängepunkte liegt. Sobald man aber eine Magnetnadel in ihrem Schwerpunkte selbst aufhängt, so bleibt sie nicht mehr wagerecht stehen, sondern sie macht einen Winkel mit der Horizontalen, welcher den Namen der Inclination führt.

Der Fig. 371 (a. f. S.) abgebildete Apparat ist sehr geeignet, die Inclination der Magnetnadel zu zeigen. In einem Rahmen von Messing, welcher an einem Faden aufgehängt ist, befindet sich eine sehr leicht bewegliche horizontale Axe $a\,b$, welche durch den Schwerpunkt einer Magnetnadel geht. Man sieht, daß eine so aufgehängte Magnetnadel sich um eine verticale und um eine horizontale Axe drehen und also dem richtenden Einflusse der Erde ganz frei folgen kann. Die Nadel stellt sich nun so, daß ihre Längenaxe in den magnetischen Meridian fällt; das nach Norden gekehrte Ende der Nadel aber senkt sich, die Längenaxe der Nadel macht also einen Winkel mit der Horizontalen, der in unseren Gegenden ungefähr 70° beträgt.

Wenn die Inclinationsnadel in einem getheilten Verticalkreise, dessen Ebene mit der Umdrehungsebene der Nadel zusammenfällt, angebracht ist, wie Fig. 372 (a. f. S.), so kann man auf diesem Kreise die Größe der Inclination ablesen, wenn man dafür sorgt, daß die Ebene des Verticalkreises genau in den magnetischen Meridian fällt.

Digitized by Google

Solche Apparate, welche dazu dienen, die Inclination zu messen, heißen Inclinatorien oder Inclinationsbussolen.

Fig. 371.

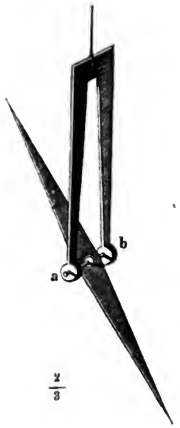
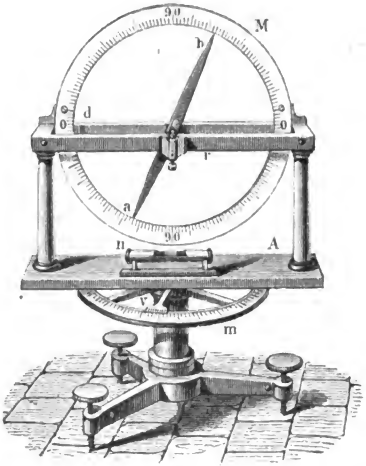


Fig. 372.



Die Größe der Inclination nimmt im Allgemeinen zu, je mehr man nach Norden kommt; in der Nähe der Erdpole nimmt die Inclinationsnadel eine fast senkrechte Stellung an; so beobachtete z. B. Capitän Philipps im Jahre 1773 unter 79° 44′ nördlicher Breite eine Inclination von 82° 9′, und Parry unter 70° 47′ eine Inclination von 82° 43′. Capitän Roß endlich hat den magnetischen Nordpol der Erde selbst erreicht. Unter 70° 5′ nördlicher Breite und 263° 14′ östlich von Greenwich fand er die Declination 90°. Die Neigung der Magnetnadel ist in hohen Breiten so bedeutend, daß der Compaß für die Seefahrer seine Brauchbarkeit verliert, wie durch die letzten Nordpolexpeditionen bewiesen ist.

Je weiter man hingegen nach Süden geht, desto mehr nimmt die Inclination ab, und in der Aequatorialzone kommt man zu einem Punkte, wo die Inclination Null ist, wo also die Inclinationsnadel vollkommen wagerecht steht. Geht man noch weiter nach Süden, so beobachtet man abermals eine Inclination, aber eine entgegengesetzte; es ist nun das nach Süden gekehrte Ende, welches sich tiefer stellt. Diese Inclination nimmt nun ebenfalls mit der südlichen Breite zu. In der Nähe des Südpols der Erde giebt es demnach einen zweiten Punkt, an welchem sich die Inclinationsnadel völlig vertical stellt, und dies ist der magnetische Südpol der Erde.

In welcher geographischen Länge man auch die Aequatorialzone passiren mag, so wird man doch immer einen Punkt finden, wo die Inclinationsnadel

Digitized by Google

wagerecht steht. Diese Orte ohne Inclination bilden um die ganze Erde eine Curve, welche man den magnetischen Aequator nennt.

Der magnetische Aequator fällt nicht mit dem Erdäquator zusammen und bildet auch keinen regelmäßigen größten Kreis der Erdkugel.

Die Totalwirkung, welche die Erde auf eine Magnetnadel ausübt, ist nur eine richtende, aber keine anziehende; denn wenn Letzteres der Fall wäre, so müßte eine Stahlnadel nach der Magnetisirung mehr wiegen als vorher. Wenn man eine Magnetnadel auf einen Kork legt, welcher auf dem Wasser schwimmt, so stellt sie sich in den magnetischen Meridian; sie zeigt aber kein Bestreben, nach Norden zu schwimmen, wie man vielleicht hätte erwarten können.

Nähert man der schwimmenden Nadel einen Magnetstab, so findet entweder eine Anziehung oder eine Abstoßung Statt, je nachdem man der Nadel den einen oder den anderen Pol des Magnets nähert; die Nadel schwimmt dem Magnet entweder zu oder von ihm weg. Warum schwimmt nun die Nadel nicht dem magnetischen Nordpole zu, wenn sich doch die Erde nicht anders als ein großer Magnet verhält? Der Grund ist folgender. Die Kraft der magnetischen Anziehung nimmt mit der Entfernung ab, wie wir bald sehen werden. Wenn man nun einen Magnetstab der schwimmenden Nadel nähert, so sind die beiden Pole der Nadel nicht gleich weit vom genäherten Pole des Magnets entfernt, folglich muß entweder die abstoßende oder die anziehende Kraft überwiegen und mithin auch eine Fortbewegung erfolgen. Der magnetische Nordpol der Erde ist aber nun von der schwimmenden Nadel so außerordentlich weit entfernt, daß die Länge der Nadel gegen diese Entfernung eine völlig verschwindende Größe ist; der Nordpol der Nadel wird also ebenso stark angezogen, als der Südpol abgestoßen wird.

Variationen der Declination und Inclination. Die De- 175
clination ist ebenso wenig wie die Inclination unveränderlich; im Jahre 1580 war die Declination zu Paris 11° 30′ östlich; sie nahm nun ab und war im Jahre 1663 gleich Null; von dieser Zeit an wurde die Declination westlich und wuchs beständig bis zum Jahre 1814, wo sie ihr westliches Maximum von 22° 34′ erreichte, um alsdann wieder kleiner zu werden.

Die Inclination der Magnetnadel hat zu Paris vom Jahre 1671, wo sie ungefähr 75° betrug, fortwährend abgenommen, so daß sie gegenwärtig daselbst ungefähr $67\frac{1}{2}$° beträgt.

Diese ganz allmäligen Veränderungen der Declination und Inclination, welche die Folge einer langsamen Ortsveränderung der magnetischen Pole der Erde sind, nennt man seculare Variationen; es sind dies jedoch nicht die einzigen Veränderungen, welchen die Richtung der Declinationsnadel unterworfen ist.

Wenn man die Declinationsnadel aufmerksam beobachtet, so findet man, daß sie fortwährend kleine Oscillationen macht, indem sie sich bald östlich, bald westlich von ihrer mittleren Lage entfernt; diese Schwankungen sind bald mehr regelmäßig und periodisch, bald mehr zufällig und plötzlich. Erstere sind die täglichen Variationen, letztere nennt man Störungen.

Digitized by Google

Im Allgemeinen bewegt sich das Nordende der Nadel vom Sonnenaufgange an nach Westen und beginnt dann von 5 Uhr Abends an seinen Rückweg.

Die Amplitude der täglichen Variationen, d. h. der Winkel zwischen dem östlichsten und westlichsten Stande, ist veränderlich; sie ist manchmal nur 5 bis 6 Minuten, manchmal aber beträgt sie auch fast $^1/_2$ Grad.

Auch die Inclination ist solchen täglichen Variationen unterworfen.

Sehr starke unregelmäßige Schwankungen, die oft mehr als einen Grad betragen, macht die Declinationsnadel, wenn sich ein Nordlicht am Himmel zeigt.

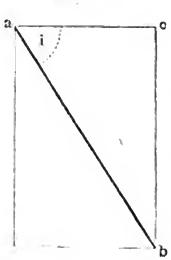
Erdbeben und vulcanische Eruptionen scheinen auch auf die Magnetnadel zu wirken, und manchmal haben sie eine bleibende Veränderung ihrer Lage zur Folge.

176 **Intensität des Erdmagnetismus.** Wenn eine Inclinationsnadel aus ihrer Gleichgewichtslage herausgebracht wird, so strebt der Erdmagnetismus, sie wieder in dieselbe zurückzuführen; wenn man aber die Nadel ganz und gar sich selbst überläßt, so kommt sie erst nach einer Reihe von Schwingungen zur Ruhe. Die Zeit, welche zu einer jeden dieser Schwingungen nöthig ist, hängt ab von der Masse der Nadel, von der Stärke des in ihr entwickelten Magnetismus und von der Stärke des Erdmagnetismus. Eine und dieselbe Nadel wird also schneller oscilliren, wenn der Erdmagnetismus stärker auf sie einwirkt.

So hat man denn ein Mittel, die Stärke des Erdmagnetismus an verschiedenen Orten der Erde mit einander zu vergleichen; man hat nur zu beobachten, wie viel Oscillationen in einer bestimmten Zeit, etwa in 5 Minuten, eine und dieselbe Inclinationsnadel an verschiedenen Orten macht, und kann so nach dieser Beobachtung leicht berechnen, wie sich die Stärke des Erdmagnetismus an dem einen Orte zu der am anderen Orte verhält; denn die Intensitäten des Erdmagnetismus verhalten sich wie die Quadrate der in gleichen Zeiten gemachten Schwingungszahlen.

Die Beobachtung der Oscillationen einer Inclinationsnadel kann nie sehr genaue Resultate geben, und deshalb sind die Schwingungsversuche mit horizontalen Nadeln oder Stäben vorzuziehen. Die Kraft, welche die Declinationsnadel oscilliren macht, ist nur ein Theil und zwar die horizontale Seitenkraft der ganzen, in der Richtung der Inclinationsnadel wirkenden magnetischen Erdkraft; wenn aber die horizontale Intensität und die Größe der Inclination bekannt ist, so kann man leicht die totale Intensität berechnen.

Fig. 373.



Es stelle nämlich ab die Größe und Richtung der ganzen magnetischen Erdkraft dar, die wir mit I bezeichnen wollen und welche einen Winkel i mit der Horizontalen macht, so ist ihre horizontale Seitenkraft ac, welche wir mit I_h bezeichnen wollen:

$$I_h = I \cos. i.$$

Wenn $i = o$, so fällt die Richtung der erdmagnetischen Kraft in eine horizontale Ebene; es ist dies bekanntlich auf dem magnetischen Aequator der

Digitized by Google

Fall; hier ist die horizontale Intensität der ganzen Intensität gleich. Ueberhaupt wird der horizontale Antheil der magnetischen Erdkraft um so größer, je mehr man sich dem magnetischen Aequator nähert; an den magnetischen Polen der Erde, wo die Inclinationsnadel vertical steht, ist der horizontale Antheil der magnetischen Erdkraft gleich Null.

Wenn man die Resultate der Intensitätsbestimmungen zusammenstellt, welche an verschiedenen Orten der Erdoberfläche gemacht worden sind, so ergiebt sich das allgemeine Resultat, daß die totale Intensität in der Nähe des magnetischen Aequators am kleinsten ist, und daß sie von da gegen die Pole hin wächst. In der Nähe der magnetischen Pole ist sie ungefähr 1,5mal so groß als am Aequator. An einem und demselben Orte ist aber die Intensität auch veränderlich und wie die Declination und Inclination täglichen Variationen unterworfen.

Einfluss des Erdmagnetismus auf das Eisen. Wenn man 177
eine Stange von weichem Eisen, welche 2 bis 3 Fuß lang ist, in die Richtung der Inclinationsnadel hält, so wird sie durch den Einfluß des Erdmagnetismus selbst magnetisch, und zwar wird ihr unteres Ende ein Nordpol, ihr oberes ein Südpol, wie man leicht sehen kann, wenn man eine kleine empfindliche Magnetnadel bald dem oberen, bald dem unteren Ende der Stange nähert. Kehrt man den Stab um, so sind sogleich auch seine Pole umgekehrt, das untere Ende ist wieder ein Nordpol, das obere wieder ein Südpol.

Dieselbe Wirkung, nur etwas schwächer, bringt auch der Erdmagnetismus auf eine vertical hängende Eisenstange hervor, überhaupt auf jede Eisenstange, welchen Winkel sie auch mit der Richtung der Inclinationsnadel macht; nur ist die Wirkung um so geringer, je mehr sie sich von der Richtung der Inclinationsnadel entfernt. Denselben Einfluß äußert der Erdmagnetismus auch mehr oder weniger auf alle Eisenmassen; alles weiche Eisen muß also unter dem Einflusse des Erdmagnetismus einen polaren Magnetismus annehmen, der sich je nach den Umständen deutlicher oder weniger deutlich nachweisen läßt.

Wenn eine Stange von Eisen durch den vertheilenden Einfluß des Erdmagnetismus selbst zum Magneten gemacht ist, so reichen einige Schläge mit dem Hammer hin, um den Magnetismus zu fixiren und die Stange zu einem bleibenden Magneten zu machen; durch das Schlagen wird also dem Eisen eine Coercitivkraft ertheilt, welche hindert, daß die durch den Einfluß der Erde im Eisen erzeugte magnetische Polarität sich wieder verliert. Dadurch erklärt sich auch, daß fast alle Werkzeuge in der Werkstatt eines Schlossers Magnete sind.

Es scheint, daß auch chemische Veränderungen ähnlich wirken wie mechanische Erschütterungen, um den durch die Erde erzeugten Magnetismus des Eisens zu fixiren; denn man findet, daß Eisenstangen, welche längere Zeit vertical standen und in dieser Stellung rosteten, einen bleibenden Magnetismus erhalten haben.

Wenn man einen Hufeisenmagnet in Eisenfeile taucht, so hängt sich zwischen den Polen ein Bündel derselben an; wenn man sie nun mit etwas Wasser

Digitized by Google

befeuchtet und dann mittelst der Löthrohrflamme zum Glühen erhitzt, während sie noch immer dem vertheilenden Einflusse des Magnets ausgesetzt sind, so geht eine theilweise Oxydation des Eisens vor sich; man erhält eine ziemlich compacte Masse, deren Zusammensetzung der der natürlichen Magnete ähnlich ist und welche ebenfalls bleibenden Magnetismus zeigt.

178 **Abnahme der magnetischen Effecte mit der Entfernung.** Nachdem wir die magnetische Wirkung der Erde kennen gelernt haben, können wir nun auch untersuchen, nach welchem Gesetze die Stärke der magnetischen Anziehungen und Abstoßungen mit wachsender Entfernung abnimmt. Es läßt sich wohl von vornherein vermuthen, daß die magnetischen Wirkungen, wie alle anderen von einem Punkte ausgehenden Wirkungen, im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung stehen, d. h. daß in 2-, 3-, 4mal größerer Entfernung die Wirkung 4mal, 9mal, 16mal kleiner ist.

Wenn man versuchen will, dies Gesetz durch das Experiment zu bestätigen, so stößt man auf die eigenthümliche Schwierigkeit, daß man nie mit einem magnetischen Pole allein experimentiren kann, daß der eine immer etwas auf die Wirkung des anderen influirt; man hat deshalb nur dafür zu sorgen, daß die Entfernung des einen Poles so groß ist, daß sein störender Einfluß gegen die Wirkungen des anderen verschwindet.

Eine kleine Magnetnadel $n s$, Fig. 374, werde an einem Cocoufaden so aufgehängt, daß sie in horizontaler Ebene frei oscilliren kann, daß sie aber vor störenden Luftströmungen hinlänglich geschützt ist. Diese Nadel läßt man zuerst unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus oscilliren.

Fig. 374.

Nun läßt man den einen Pol eines möglichst stark magnetisirten Stahlstabes auf die Nadel wirken. Dieser Stahlstab wird in den magnetischen Meridian der Nadel $n s$ gebracht, und zwar in verticaler Stellung, so daß dem Pole s der Nadel derjenige Pol N des Stabes zugekehrt ist, auf welchen er anziehend wirkt.

Der Stab $N S$ muß so groß sein, daß die Entfernung $s N$ möglichst klein ist im Vergleich zur Entfernung $s S$, daß man also die Wirkung des Poles S auf s ohne merklichen Fehler vernachlässigen kann.

Unter dem Einflusse des Magnetpoles N wird nun die Nadel $n s$ rascher oscilliren als unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus, und zwar um so schneller, je näher N bei s steht.

Hat man die Schwingungszahl der Nadel für die einfache, doppelte, dreifache Entfernung zwischen N und s und für den Fall beobachtet, daß der Magnetstab $N S$ ganz entfernt ist, so ergiebt sich aus diesen Zahlen, daß die anzie-

Digitized by Google

hende Kraft des Poles N auf s in der doppelten und dreifachen Entfernung 4mal, 9mal geringer ist.

Weber hat diesen Satz auf indirectem Wege bewiesen, indem er nicht die Wirkung eines einzelnen Poles, sondern die Wirkung des ganzen Magnets in größerer Entfernung untersuchte. Er hat gezeigt, daß, wenn ein Magnetstab klein ist im Vergleiche mit der Entfernung, auf welche er wirkt, die Totalwirkung desselben im umgekehrten Verhältnisse der dritten Potenz der Entfernung abnehmen muß, wenn die Wirkung eines einzelnen Poles wirklich im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung steht.

Fig. 375.

In Fig. 375 sei NS ein Magnetstab von 1 Decimeter Länge, dessen Mitte 10 Decimeter weit vom Mittelpunkte der kleinen Magnetnadel ns entfernt ist. Die Magnetnadel sei so klein, daß die Länge Ss nicht merklich größer ist, als die Entfernung von S bis zur Mitte der Nadel, so ist $Ss = 9{,}5$ Decimeter und Ns ist 10,5 Decimeter. Bezeichnet man mit 1 die Kraft, mit welcher sich die Pole S und s in der Entfernung von 1 Decimeter abstoßen, so ist jetzt die abstoßende Kraft $\frac{1}{9{,}5^2} = \frac{1}{90{,}25}$, wenn die Wirkung des Poles im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung steht. Aus derselben Voraussetzung ergiebt sich für die anziehende Wirkung zwischen den Polen N und s der Werth $\frac{1}{10{,}5^2} = \frac{1}{110{,}25}$; die Totalwirkung, welche der Magnet NS auf s ausübt, ist also $\frac{1}{90{,}25} - \frac{1}{110{,}25} = \frac{20}{9950}$.

Bringt man den Magnet in die doppelte Entfernung von der Nadel, d. h. legt man ihn so, daß $Ss = 19{,}5$ und $Ns = 20{,}5$ ist, so muß nun die Totalwirkung des Magnets NS auf den Pol s sein:

$$\frac{1}{19{,}5^2} - \frac{1}{20{,}5^2} = \frac{1}{380{,}25} - \frac{1}{420{,}25} = \frac{40}{159800}.$$

Wenn man also die Mitte des Magnetstabes aus der Entfernung von 10 Decimetern in die Entfernung von 20 Decimeter bringt, so muß seine Wirkung im Verhältnisse von $\frac{20}{9950}$ zu $\frac{40}{159800}$ abnehmen, vorausgesetzt, daß die Wirkung jedes einzelnen Poles im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung steht. Es ist aber

$$\frac{20}{9950} : \frac{40}{159800} = \frac{1}{995} : \frac{2}{15980} = \frac{15980}{1990} = 8;$$

in der doppelten Entfernung ist also die Totalwirkung des Magnets 8mal schwächer, 8 aber ist die dritte Potenz von 2.

Was hier an einem speciellen Beispiele gezeigt wurde, läßt sich auch all-

Digitized by Google

gemein beweisen; es läßt sich allgemein darthun, daß die Totalwirkung eines Magnets im umgekehrten Verhältnisse der dritten Potenz der Entfernung stehen muß, wenn die Wirkung der einzelnen Pole im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung steht, vorausgesetzt, daß die Dimensionen des Stabes und der Nadel klein genug sind im Vergleich zu ihrer gegenseitigen Entfernung.

Daß sich aber die Totalwirkung eines Magnetstabes in der Ferne wirklich umgekehrt verhält wie die dritte Potenz der Entfernung, läßt sich durch den Versuch in folgender Weise bestätigen.

Ein Stab, welcher 1 Meter lang und in halbe Decimeter getheilt ist, werde so gelegt, daß seine Richtung rechtwinkelig auf dem magnetischen Meridian steht. Auf seine Mitte werde dann eine kleine Bussole gesetzt, wie man Fig. 376 sieht. Die Nadel dieser Bussole wird auf Null stehen, wenn außer

Fig. 376.

der magnetischen Erdkraft keine anderen magnetischen Kräfte auf sie wirken. Wenn man aber seitwärts auf den Stab einen Magnet legt, so wird die Nadel abgelenkt, und zwar ist die ablenkende Kraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional.

Man lege nun einen Magnetstab von 1 Decimeter Länge, sowie es die Fig. 376 zeigt, daß also seine Mitte 45 Centimeter weit von der Mitte der Bussole entfernt ist. Bei einem solchen Versuche ergab sich eine Ablenkung von $11\frac{1}{2}^0$,

Dann wurde der Magnetstab $n\,s$ so gelegt, daß seine Mitte 30 Centimeter weit von der Mitte der Bussole war, und nun betrug die Ablenkung $35\frac{1}{4}^0$.

Die Entfernungen verhalten sich hier wie 30 zu 45 oder wie 2 zu 3, die Tangenten der Ablenkungswinkel müssen sich also verhalten wie 2^3 zu 3^3 oder wie 8 zu 27 oder wie 1 : 3,375.

Nun aber ist auch *tang.* $11\frac{1}{2}^0 = 0{,}2034$, *tang.* $35\frac{1}{4}^0 = 0{,}7115$, und $\frac{0{,}7115}{0{,}2034} = 3{,}49$; die Tangenten der Ablenkungswinkel verhalten sich also in der That sehr nahe wie 8 zu 27 oder wie die dritten Potenzen der Entfernungen. Daß die Uebereinstimmung nicht vollständiger ist, liegt nur daran, daß bei obigen Versuchen die Länge des Magnetstabes noch ziemlich bedeutend war im Verhältniß zu seinem Abstand von der Nadel.

Digitized by Google

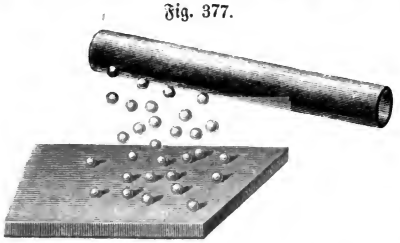
Zweites Capitel.

Von der Reibungs-Elektricität.

Es giebt Körper, welche durch Reiben die Eigenschaft erlangen, leichte Körper anzuziehen. Wenn man mit Wollen- oder Seidenzeug einen Glasstab, eine Porzellanröhre, eine Stange Schwefel oder Siegellack, ein Stück Bernstein, Gutta-Percha u. s. w. reibt, so erlangen diese Körper sogleich die merkwürdige Eigenschaft, leichte Gegenstände, wie Papierschnitzel, Kügelchen von Hollundermark u. s. w., anzuziehen. 179

Wenn man Kügelchen von Hollundermark auf einen Tisch oder noch besser auf eine Metallplatte legt und dann eine geriebene Glas- oder Harzstange darüber hält, so sieht man, wie die Kügelchen nach derselben hinfliegen, Fig. 377, und, nachdem sie die Stange berührt haben, wieder von derselben abgestoßen werden. Die Kraft, welche diese Erscheinung bewirkt, wird mit dem Namen der Elektricität bezeichnet.

Fig. 377.



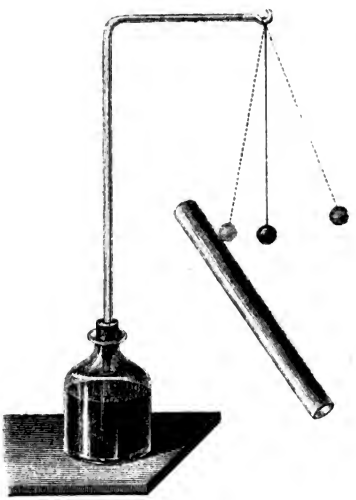
Noch empfindlicher zur Nachweisung der elektrischen Wirkungen geriebener Körper, als das eben beschriebene Verfahren, ist das elektrische Pendel, Fig. 378 (a. f. S.), welches im Wesentlichen aus einem an einem seidenen oder leinenen Faden aufgehängten Kügelchen von Hollundermark oder Sonnenblumenmark besteht; wenn man diesem Kügelchen eine geriebene Glas- oder Harzstange nähert, so zeigt sich die Anziehung schon auf ziemliche Entfernung, namentlich wenn das Kügelchen an einem leinenen Faden hängt.

Mit Hülfe des elektrischen Pendels läßt sich zeigen, daß alle Harze, Bernstein, Schwefel, Glas durch Reiben stark elektrisch werden; Edelsteine, Holz, Kohle geben selten Spuren von Anziehung; Metalle endlich scheinen auf den

Digitized by Google

ersten Anblick durch Reiben gar nicht elektrisch gemacht werden zu können, denn man mag einen Metallstab, den man in den Händen hält, noch so stark reiben, so erhält man an diesem Apparate auch nicht die mindesten Spuren von Anziehung. Man zerfällte danach alle Körper in zwei große Classen: in solche, welche durch Reiben elektrisch werden, und solche, welche diese Eigenschaft nicht haben. Erstere nannte man idioelektrische, letztere anelektrische Körper.

Fig. 378.



Diese Eintheilung beruht jedoch auf einer irrigen Ansicht; denn man hat gefunden, daß alle Körper, selbst Metalle, durch Reiben elektrisch gemacht werden können, und wenn man bei vielen durch Reiben keine Spur von Elektricität erhalten kann, so liegt die Ursache davon in anderen Umständen, die wir bald näher werden kennen lernen.

180 **Leiter und Nichtleiter.** Ein englischer Physiker, Gray, fand im Jahre 1727, daß auch Metalle den elektrischen Zustand annehmen können, und zwar auf folgende Weise. Das eine Ende einer offenen Glasröhre war mit einem Korke verstopft und in diesem steckte ein Metallstäbchen; wurde nun die Röhre gerieben, so zeigte sich alsbald auch das Metallstäbchen elektrisch: ein Beweis, daß es die Elektricität aufzunehmen und fortzupflanzen vermag. Dieselbe Eigenschaft haben aber alle anelektrischen Körper; man nannte sie deshalb Leiter der Elektricität. Die idioelektrischen Körper dagegen sind keine Leiter; denn wenn man z. B. einen Glasstab durch Reiben an einem Ende elektrisch macht, so zeigt das andere Ende keine Anziehung.

Man kann diese Fundamentalwahrheit sehr gut mit Hülfe der Elektrisirmaschine nachweisen, welche wir, ohne noch ihre Einrichtung zu kennen, doch vor der Hand schon als Mittel anwenden können, um Elektricität zu entwickeln. Der Conductor der Maschine ist ein metallischer Körper, welcher elektrisch gemacht wird. Wenn man mit dem in den elektrischen Zustand versetzten Conductor einen an Seidenschnüren aufgehängten oder einen durch einen Glasfuß getragenen Metallkörper in Berührung bringt, so wird das Metall seiner ganzen Ausdehnung nach elektrisch; sobald man es aber durch irgend einen guten

Digitized by Google

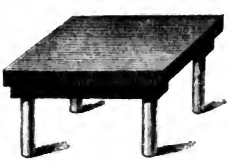
Leiter mit dem Boden in Verbindung setzt, verschwindet alle Elektricität augenblicklich.

Es geht daraus auch hervor, daß die Seidenfäden, der Glasstab Nichtleiter der Elektricität, daß sie Isolatoren sind. Ein Leiter der Elektricität kann also nur so lange elektrisch bleiben, als er isolirt, d. h. von lauter Nichtleitern umgeben ist. Auch die Luft ist ein Isolator, denn sonst würde die Elektricität von dem Metalle augenblicklich durch die Luft abgeführt werden.

Wasser und Wasserdampf sind gute Leiter, deshalb verliert sich die Elektricität, welche auf einem isolirten Leiter bei trockener Luft lange haftet, sehr schnell, wenn die Luft feucht ist.

Auch der menschliche Körper ist ein guter Leiter. Wenn man, auf dem Boden stehend, den Conductor der Elektrisirmaschine anfaßt, so wird alle Elektricität, welche durch das Drehen derselben erzeugt wird, sogleich abgeführt; wenn man aber auf einem schlechten Leiter, etwa auf einem Harzkuchen oder auf einem sogenannten Isolirschemel, Fig. 379, d. h. auf einem durch Glasfüße getragenen Brette steht, so wird der ganze Körper elektrisch. Man sieht jetzt auch ein, warum eine Metallstange, die man in der Hand hält, durch Reiben nicht elektrisch wird; alle Elektricität nämlich, welche man durch das Reiben auf dem Metalle erzeugt, wird sogleich durch den menschlichen Körper wieder abgeführt.

Fig. 379.



Die besten Isolatoren werden Leiter, wenn sich Wasserdampf auf ihnen niederschlägt. Es ist deshalb für den Erfolg elektrischer Versuche von der größten Wichtigkeit, Glasfüße, Harzstangen u. s. w., welche einen Leiter isoliren sollen, durch Erwärmen und Reiben gehörig trocken zu machen.

Statt die Körper in Leiter und Nichtleiter einzutheilen, müßte man sie, um genauer zu reden, gute oder schlechte Leiter nennen, denn absolute Nichtleiter giebt es nicht. Schellack, überhaupt Harze, Seide und Glas sind die schlechtesten Leiter, die es giebt; die Metalle hingegen sind die besten Leiter.

Von den beiden Arten der Elektricität. Nehmen wir ein **181** einfaches elektrisches Pendel, Fig. 378, zur Hand, dessen Kügelchen an einem Seidenfaden aufgehängt ist. Wenn man eine geriebene Glas- oder Schellackstange nähert, so wird das Hollundermarkkügelchen angezogen, es berührt die Stange, bleibt aber nur einige Augenblicke daran haften, um alsbald abgestoßen zu werden. Diese Repulsion rührt von der Elektricität her, welche dem Kügelchen durch die Berührung mit der Stange mitgetheilt worden ist; denn wenn man es mit der Hand berührt und es dadurch wieder auf seinen natürlichen Zustand zurückführt, wird es von Neuem angezogen und nach der Berührung abermals abgestoßen. Daß das abgestoßene Kügelchen wirklich elektrisch ist, geht auch daraus hervor, daß es selbst von Körpern, die sich im natürlichen Zustande befinden (man muß jedoch zu diesem Versuche Leiter wählen), angezogen wird.

Digitized by Google

Wenn man zwei isolirte Pendel nimmt, von denen das eine durch Berührung mit einer Glasstange, die mit Seide gerieben worden war, das andere durch eine mit Pelz geriebene Schellackstange elektrisch gemacht worden ist, so beobachtet man folgende merkwürdige Erscheinung. Das eine Kügelchen, welches durch die Glasstange abgestoßen wird, wird durch die Schellackstange angezogen, das vom Schellack abgestoßene aber wird durch das Glas angezogen. Die Elektricität des geriebenen Glases ist also nicht identisch mit der des Harzes, weil jede das anzieht, was die andere abstößt.

Die beiden Elektricitäten hat man mit dem Namen der Glaselektricität und der Harzelektricität bezeichnet. Die Glaselektricität wird auch die positive, die Harzelektricität die negative genannt. Die Entdeckung der beiden verschiedenen Elektricitäten wurde von Dufay im Jahre 1773 gemacht.

182 **Von den elektrischen Flüssigkeiten und dem natürlichen Zustande der Körper.** Was eigentlich das Agens sei, welches die elektrischen Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen hervorbringt, ist uns vor der Hand noch unbekannt. Um aber eine klare Uebersicht der elektrischen Erscheinungen und ihres Zusammenhanges geben zu können, ist es unumgänglich nothwendig, sich irgend eine Hypothese über das Wesen der Elektricität zu bilden.

Die zweckmäßigste, fast allgemein angenommene elektrische Hypothese ist nun die, daß es zwei verschiedene elektrische imponderabele Fluida gebe (positiv elektrisches Fluidum und negativ elektrisches Fluidum), welche ein ähnliches Verhalten gegen einander zeigen, wie wir es bei den hypothetischen magnetischen Flüssigkeiten kennen lernten, d. h. Theilchen gleichnamiger elektrischer Flüssigkeit stoßen einander ab, ungleichnamige Fluida ziehen einander an.

Ein Körper befindet sich im natürlichen, elektrisch-neutralen Zustande, wenn gleiche Quantitäten beider Fluida gleichförmig über seine ganze Masse verbreitet sind, wenn sich also die beiden elektrischen Fluida, welche der Körper enthält, gegenseitig neutralisiren.

Ein Körper ist elektrisch, wenn er einen Ueberschuß an positivem oder negativem Fluidum enthält.

Zwischen den elektrischen und magnetischen Flüssigkeiten findet jedoch ein wesentlicher Unterschied statt: die elektrischen Fluida können nämlich von einem Körper zum andern übergehen, während die magnetischen Fluida als an die einzelnen Eisenpartikelchen gebunden zu betrachten sind und nicht von einem Eisenstabe zu einem andern, oder nur von einem Eisentheilchen zu einem benachbarten übergehen können.

Wenn durch Reiben in einem Körper $+E$ frei gemacht wird, so muß in gleichem Maße auch $-E$ entwickelt werden. Wenn der geriebene Körper positiv elektrisch wird, so wird das Reibzeug negativ und um-

Digitized by Google

gekehrt. Man kann dies am einfachsten dadurch zeigen, daß man einen Glasstab mit einer Platte von etwas dickem vulcanisirtem Kautschuk reibt, wie dies in Fig. 380 angedeutet wird; nähert man die geriebene Seite der Kautschukplatte der Kugel des elektrischen Pendels, Fig. 378, nachdem man dieselbe mit — E geladen hat, so wird die Kugel abgestoßen; die Kautschukplatte ist also gleichfalls negativ elektrisch, während der durch Reiben positiv gewordene Glasstab die negativ elektrische Kugel anzieht.

Fig. 380.

Da ein Körper in seinem natürlichen Zustande die beiden E in gleichem Maße enthält, so giebt es keinen Grund anzunehmen, daß er besonders geeignet sei, vorzugsweise die eine aufzunehmen und zurückzuhalten; er kann also auch durch Reiben bald +, bald — elektrisch werden, je nachdem man ein anderes Reibzeug wählt. Glas z. B. wird, mit Wolle oder Seide gerieben, positiv, mit einem Katzenpelze gerieben, negativ elektrisch. Um die Elektricität genau zu bezeichnen, muß man also sagen: die + E ist diejenige, welche das Glas durch Reiben mit Wolle oder Seide annimmt, die — E hingegen diejenige, welche das Harz annimmt, wenn man es mit einem Katzenfelle oder mit Wolle reibt.

Elektrische Vertheilung. Wir haben gesehen, daß jede der elek- 183
trischen Flüssigkeiten die gleichnamige abstößt und die ungleichnamige anzieht. Diese Anziehung und Abstoßung äußert sich aber nicht allein auf die schon zersetzten Flüssigkeiten, sondern auch auf die noch verbundenen, und daher kommt es, daß die verbundenen Elektricitäten eines Leiters, der sich im natürlichen Zustande befindet, durch die Annäherung eines elektrischen Körpers vertheilt werden.

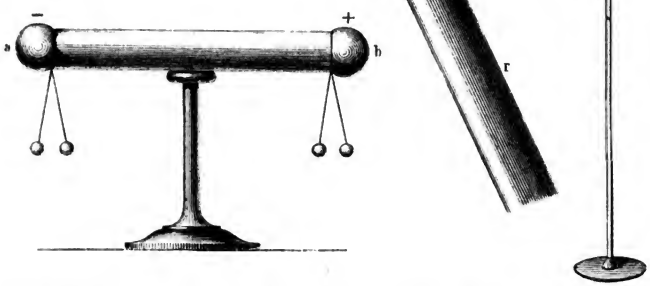
Einem isolirten Leiter $a\,b$, Fig. 381 (a. f. S.), nähere man von der einen Seite her einen elektrischen Körper, etwa einen negativ elektrischen Harzstab r, Fig. 382 (a. f. S.) so wird $a\,b$ durch Vertheilung elektrisch. Dem vertheilenden Körper r zunächst findet sich bei b die angezogene positive, an dem von r abgewandten Ende a des isolirten Leiters die abgestoßene negative Elektricität.

Daß die Elektricitäten wirklich auf diese Weise vertheilt sind, läßt sich durch ein Probescheibchen nachweisen. Es ist dies ein Scheibchen von Rauschgold oder

Digitized by Google

von Messingblech von 1 bis 2 Centimeter Durchmesser, Fig. 383, welches an einem langen Stäbchen von Schellack oder einem überfirnißten ganz dünnen

Fig. 381. Fig. 382. Fig. 383.



Glasstäbchen befestigt ist. Berührt man mit diesem Scheibchen den isolirten Leiter bei a, während der negativ elektrische Körper r sich in der Nähe befindet, so wird sich das Probescheibchen mit der hier angehäuften Elektricität laden, und welche Elektricität dies sei, erfährt man, wenn man das Probescheibchen nun einem geladenen elektrischen Pendel, etwa einem negativ elektrischen, nähert. Das Kügelchen wird in unserem Falle von dem Probescheibchen abgestoßen, weil es sich bei a mit $-E$ geladen hat.

Um die bei a und b durch die vertheilende Wirkung des elektrischen Körpers r freigewordene Elektricität auch ohne Probescheibchen nachzuweisen, brachte Biot an den Enden des isolirten Leiters elektrische Doppelpendel an (an leinenen Fäden hängende Hollundermarkkügelchen), welche augenblicklich divergiren, sobald man einen elektrischen Körper r nähert; die Pendel bei b divergiren, weil beide Kugeln mit der durch r angezogenen, die bei a, weil sie mit der von r abgestoßenen Elektricität geladen sind.

Wenn man den isolirten Leiter ab ableitend berührt, während der elektrische Körper r in der Nähe bleibt, so fallen die Pendel bei a zusammen, weil alle abgestoßene Elektricität entweicht, die Divergenz der Pendel bei b hört aber nicht auf, denn die von r angezogene Elektricität kann nicht abgeleitet werden, weil sie durch die anziehende Wirkung, welche r auf dieselbe ausübt, bei b gleichsam gebunden ist.

Entfernt man nun zunächst die ableitende Berührung und alsdann den vertheilenden Körper r, so kann sich nun die bis dahin bei b gebunden gewesene Elektricität frei über den ganzen Leiter ab verbreiten.

184 **Das Elektrometer.** Das Princip der elektrischen Vertheilung liefert uns ein treffliches Elektroskop. — Wenn am unteren Ende eines isolirten Metallstabes ein Paar elektrische Pendel hängen, so divergiren sie, wenn man von

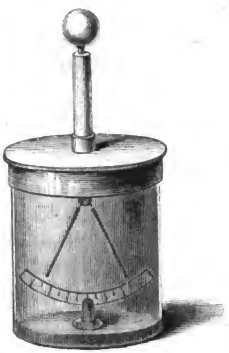
Digitized by Google

oben einen elektrischen Körper nähert. Um aus einer solchen Vorrichtung ein brauchbares Elektroskop zu machen, müssen die Pendel zur Abhaltung von Luftströmungen in ein Glasgefäß eingeschlossen, und dann muß das leitende System sorgfältig isolirt sein. Das Metallstäbchen steckt deshalb in einem gefirnißten Glasröhrchen. Die Pendel können aus Strohhalmen oder Metallblättchen u. s. w. bestehen.

Fig. 384 stellt ein Goldblattelektroskop dar. Wird ein solches Instrument mit einem Gradbogen versehen, welcher gestattet, die Divergenz der Pendel zu messen, so erhält man ein Elektrometer. Fig. 385 stellt ein Strohhalmelektrometer dar.

Fig. 384.

Fig. 385.



Wenn man einem Elektroskope von oben einen elektrischen Körper, etwa eine geriebene Harzstange *r*, Fig. 384, nähert, so divergiren die Pendel, weil die von *r* abgestoßene Elektricität in die Pendel herabgetrieben, die von *r* angezogene aber in die Platte des Elektroskops heraufgezogen wird.

Wenn man nun die Platte des Elektroskops ableitend berührt, so fallen die Pendel zusammen, weil die von *r* abgestoßene Elektricität entweicht, die von *r* angezogene Elektricität dagegen wird in der Platte des Elektroskops gebunden. Entfernt man nun zunächst die ableitende Berührung und dann den

Digitized by Google

elektrischen Körper r, so divergiren die Pendel aufs Neue, das Elektroskop ist nun geladen und zwar mit der dem Vertheiler r entgegengesetzten Elektricität.

Ein so geladenes Elektroskop dient dazu, um zu untersuchen, von welcher Natur die Elektricität irgend eines elektrischen Körpers ist. Wenn man nämlich denselben von oben her der Platte des geladenen Elektroskops nähert, so fallen die Pendel zusammen, wenn die Elektricität des genäherten Körpers und diejenige, mit welcher das Elektroskop geladen ist, ungleichnamig sind. Im entgegengesetzten Falle nimmt die Divergenz der Pendel zu.

Wenn man einem geladenen Elektroskope einen nicht elektrischen Leiter nähert, so nimmt die Divergenz der Pendel ebenfalls ab. Es ergiebt sich dies leicht als nothwendige Folge der Gesetze der elektrischen Vertheilung.

Die auf S. 337 u. 338 beschriebenen Anziehungserscheinungen finden durch die Gesetze der elektrischen Vertheilung nun auch ihre Erklärung. Wenn einem Körper, der sich im natürlichen Zustande befindet, ein elektrischer genähert wird, so werden seine Elektricitäten zerlegt. Dies ist nun auch bei dem Korkkügelchen des einfachen elektrischen Pendels der Fall. Ist es an einem Seidenfaden aufgehängt, so kann die abgestoßene E nicht aus dem Kügelchen entweichen, sie wird auf die hintere Seite des Kügelchens getrieben, während sich die angezogene auf der Vorderseite anhäuft. Weil aber die angezogene E dem Körper, von welchem die Wirkung ausgeht, näher ist, so ist die Anziehung stärker als die Abstoßung; die Kraft, welche das Kügelchen gegen den elektrischen Körper hintreibt, ist der Differenz dieser beiden entgegengesetzten Kräfte gleich; darum wird auch hier erst bei sehr geringer Entfernung des elektrischen Körpers eine Anziehung erfolgen. Weit energischer ist die Wirkung, wenn das Kügelchen an einem leitenden Faden aufgehängt ist, weil alsdann die abgestoßene E entweichen kann und durch sie die Anziehung nicht geschwächt wird.

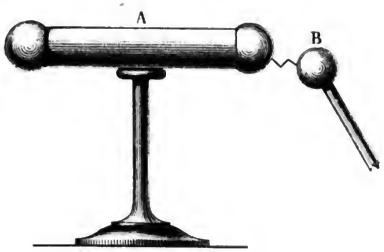
Ein Kügelchen von Schellack wird bei Annäherung eines elektrischen Körpers nicht angezogen, weil der genäherte Körper nur sehr schwer Vertheilung in denselben hervorbringen kann. Es ist dies eine Erscheinung, welche der ähnlich ist, daß ein Magnet in einem Stücke weichen Eisens eine magnetische Vertheilung hervorbringt, in einem Stücke Stahl aber ungleich schwieriger.

185 **Der elektrische Funken.** Wenn man einem isolirten, mit positiver oder negativer Elektricität geladenen Leiter einen anderen nicht elektrischen Leiter nähert, so geht in dem letzteren, wie wir gesehen haben, eine elektrische Vertheilung vor sich, deren Stärke mit der Annäherung zunimmt. Es sei z. B. der isolirte Leiter A, Fig. 386, mit positiver Elektricität geladen worden und man nähere ihm eine metallische Kugel B, so wird sich dieselbe nur mit negativer Elektricität laden, wenn sie mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt wird. Die bei größerer Annäherung zwischen A und B immer wachsende Anhäufung der entgegengesetzten Elektricitäten auf den einander zugekehrten Punkten der beiden Leiter bewirkt, daß die Anziehung dieser entgegengesetzten Elektricitäten endlich so stark wird, daß eine theilweise Vereinigung der-

Digitized by Google

ſelben ſchon vor ſich geht, ehe noch A und B in unmittelbare Berührung kommen, indem die iſolirende Luftſchicht, welche ſie noch trennt, durchbrochen wird.

Fig. 386.

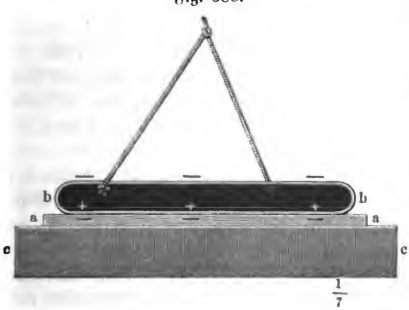


Ein ſolcher Uebergang der entgegengeſetzten Elektricitäten von einem Körper zum andern iſt dann ſtets mit einer Lichterſcheinung, dem elektriſchen Funken, begleitet, während ſich zugleich ein mehr oder minder ſtarkes Knacken hören läßt. Die Erſcheinung des elektriſchen Funkens wird weiter unten noch näher beſprochen werden.

Das Elektrophor iſt einer der wichtigſten elektriſchen Apparate und **186**
kann in vielen Fällen ſelbſt die Elektriſirmaſchine erſetzen. Es beſteht aus einem Harzkuchen, welcher in eine metallene Form, gleichſam einen Teller von Metall, gegoſſen iſt, oder, wie Fig. 387 zeigt, aus einem Harzkuchen a, den man

Fig. 387.

Fig. 388.



nur auf eine etwas größere Metallplatte oder ein mit Stanniol überzogenes Brett c auflegt. Es iſt ſehr weſentlich, daß die Oberfläche des Harzkuchens möglichſt eben ſei. Auf dieſen Harzkuchen, deſſen Oberfläche durch Schlagen mit einem Fuchsſchwanze oder einem Katzenpelze negativ elektriſch gemacht wird, ſetzt man einen durch iſolirende ſeidene

Digitized by Google

Schnüre getragenen Deckel b von Metall platt auf. Die $-E$ des Harzkuchens wirkt vertheilend auf die bis dahin noch verbundenen Elektricitäten im Deckel; die $+E$ wird angezogen, die $-E$ aber abgestoßen; die $+E$ wird sich deshalb im unteren, die $-E$ im oberen Theile des Deckels anhäufen, wie Fig. 388 (a. v. S.) andeutet. Nähert man dem Deckel einen Finger, so springt ein Funken über, und wenn man den Deckel mit dem Finger berührt, so wird alle $-E$ sich entfernen und der Deckel bleibt mit $+E$ geladen, welche durch die $-E$ des Harzkuchens gebunden ist, so lange der Deckel auf demselben liegen bleibt. Hebt man aber den Deckel von dem Kuchen mittelst der isolirenden Schnüre ab, so wird diese $+E$ frei, und man kann nun aus dem Deckel einen Funken positiver Elektricität ziehen.

Auch von Gutta-Percha, und namentlich aus der Masse, aus welcher die Kautschukkämme verfertigt werden, lassen sich gute Elektrophorkuchen machen.

187 **Die Elektrisirmaschine** besteht aus einem reibenden Körper, einem Reibzeuge und einem isolirten Leiter.

Der reibende Körper ist gewöhnlich ein mit Amalgam überzogenes Leder. Der geriebene Körper ist eine Glasscheibe oder ein Glascylinder.

Der Conductor besteht aus Hohlkugeln oder Hohlcylindern von Messingblech, welche durch Glasfüße getragen werden.

Man hat der Elektrisirmaschine mancherlei verschiedene Einrichtungen gegeben; eine sehr zweckmäßige ist die in Fig. 389 abgebildete. Die Umdrehungsaxe i der Scheibe ist von Glas; sie wird auf der einen Seite durch den Glasfuß s, auf der anderen durch eine hölzerne Stütze getragen. Die Reibzeuge stecken in einem durch den Glasfuß h getragenen Holzgestell. In dem Conductor a steckt die Saugvorrichtung d; sie besteht hier aus zwei Holzringen, zwischen welchen sich die Scheibe hindurchbewegt. Auf der der Scheibe zugewandten Seite ist jeder der Holzringe mit einer Rinne versehen, welche mit Stanniol ausgelegt und auf deren Boden eine Reihe von Metallspitzen aufgesetzt ist, die gegen die Scheibe gerichtet sind. Ein Stanniolstreifen muß die Rinnen leitend mit dem Conductor a verbinden. — Auch das Gestell des Reibzeuges ist mit einem kleinen messingenen Conductor o versehen.

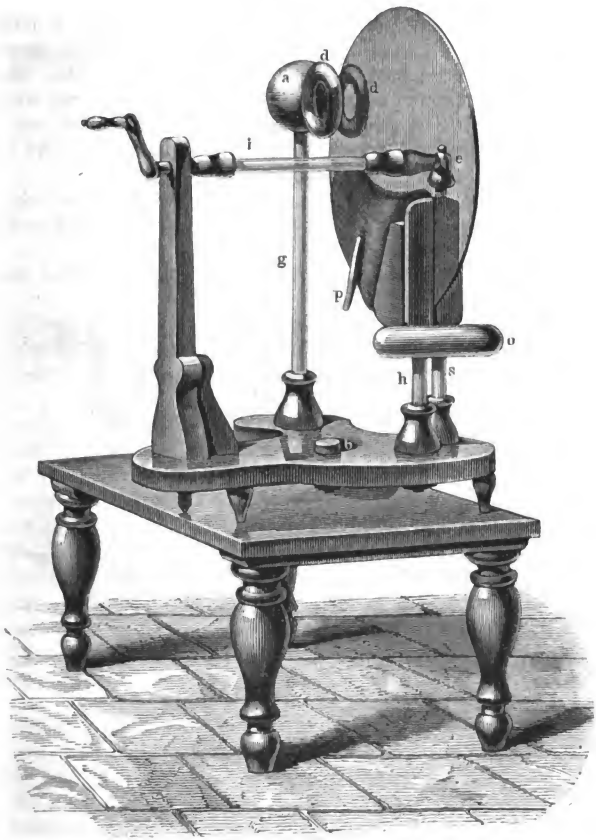
Wird die Glasscheibe gedreht, so wird sie durch die Reibung am amalgamirten Leder $+$ elektrisch; an der Saugvorrichtung angekommen, wirkt die $+E$ der Scheibe zersetzend auf den Conductor; die $-E$ wird angezogen und strömt von den Spitzen auf die Scheibe über, um sie wieder in den natürlichen Zustand zu versetzen, d. h. ihre $+E$ mehr oder weniger vollständig zu neutralisiren. Auf dem Conductor a bleibt $+E$ zurück.

Damit sich auf dem Wege von dem Reibzeuge bis zu den Saugringen die Elektricität des Glases nicht so leicht in die Luft verliere, ist hier die Scheibe auf beiden Seiten mit Stücken von Wachstaffet bedeckt. Wenn die Maschine kräftig wirken soll, so muß man unmittelbar vor dem Gebrauche die Glasfüße und die Scheibe mit warmen wollenen Lappen oder mit gewärmtem, recht trockenem Löschpapier reiben.

Digitized by Google

Der Conductor *o* des Reibzeuges muß mit dem Boden in leitender Verbindung stehen, damit die — *E* des Reibzeuges frei abfließen kann. Die durch

Fig. 389.



Reiben freigewordenen Elektricitäten müssen nämlich von der Stelle, wo sie frei wurden, weggeführt werden, wenn an derselben Stelle durch ferneres Reiben von Neuem Elektricität erregt werden soll.

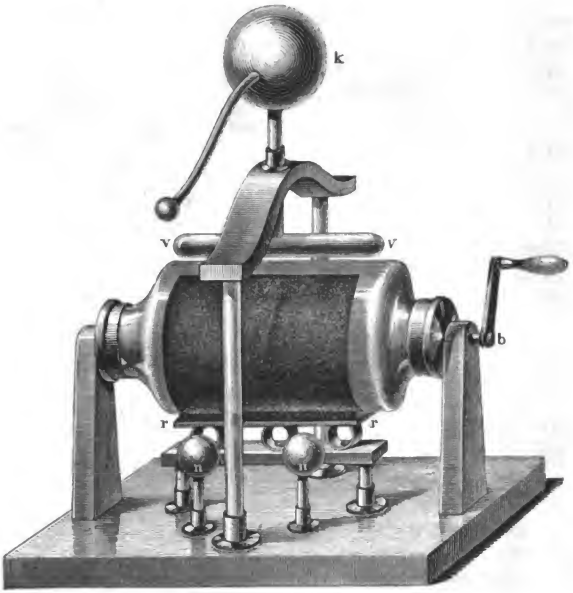
Wenn man den Conductor des Reibzeuges isolirt, dagegen den Conductor *a* mit dem Boden in leitende Verbindung bringt, so häuft sich auf dem Con-

Digitized by Google

ductor des Reibzeuges negative Elektricität an, und man kann aus ihm negativ elektrische Funken ziehen.

Statt der Glasscheiben wendet man auch Glascylinder zur Construction von Elektrisirmaschinen an. Fig. 390 stellt eine Cylindermaschine dar, welche wohl ohne weitere Erläuterung verständlich sein wird.

Fig. 390.



Mit Hülfe der Elektrisirmaschine lassen sich die elektrischen Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen in mannigfachen Abänderungen zeigen. Steckt man z. B. das Metallstäbchen, Fig. 391, welches oben ein Scheibchen trägt, von dem schmale Papierstreifen herabhängen, auf den Conductor, so werden sich dieselben schirmartig ausbreiten, wenn die Maschine gedreht wird. — Fig. 392 stellt einen Glascylinder von 3 bis 4 Zoll Durchmesser dar, welcher oben und unten mit einer Metallplatte endigt; auf der unteren, welche gut abgeleitet ist, liegen einige Hollundermarkkügelchen, die obere ist durch eine Metallkette mit dem Conductor der Elektrisirmaschine verbunden. Sobald die Maschine gedreht wird, tanzen die Kügelchen zwischen dem oberen und unteren Deckel hin und her.

Leicht entzündliche Gegenstände werden durch den elektrischen Funken entzündet. Schon der einfache Funke des Elektrophors oder noch sicherer der

Digitized by Google

Funke der Elektrisirmaschine entzündet Knallgas, d. h. ein Gemisch von Sauerstoffgas und Wasserstoffgas. (Die elektrische Pistole, Fig. 394; das Eudiometer.)

Fig. 391.

Fig. 392.

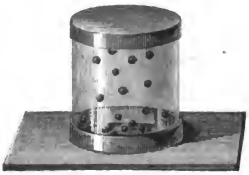


Fig. 393.

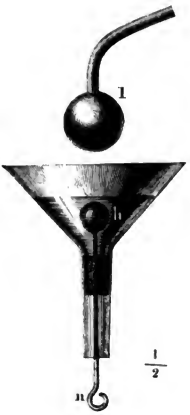


Fig. 394.

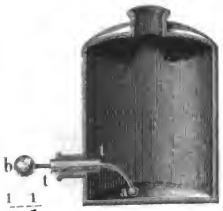


Fig. 393 erläutert die zweckmäßigste Art, mit Hülfe des elektrischen Funkens Weingeist oder Aether anzuzünden. Man läßt von der mit dem Conductor der Elektrisirmaschine verbundenen Kugel *l* zu der mit dem Boden in leitender Verbindung stehenden Kugel *h*, welche sich etwas unter der Oberfläche des Aethers befindet, einen kräftigen Funken überschlagen.

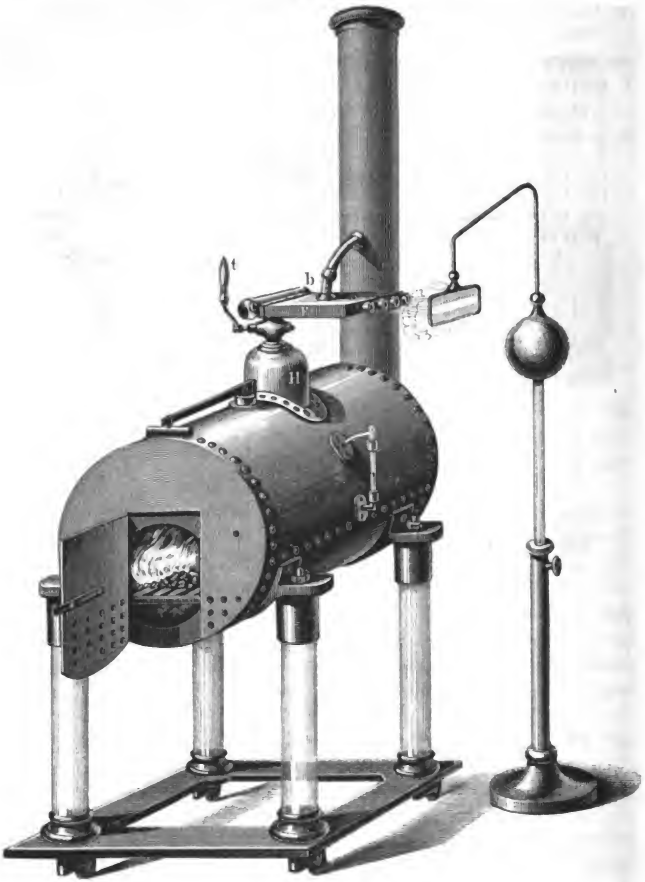
Die Dampfelektrisirmaschine. In England war zufällig die 188
Entdeckung gemacht worden, daß ein Dampfkessel, aus welchem durch eine kleine Oeffnung Dampf mit Gewalt hervordrang, stark elektrisch war; durch weiteres Verfolgen dieser Entdeckung gelangte man dahin, aus einem Dampfkessel eine Elektrisirmaschine zu machen, deren Wirkung alle bis jetzt bekannten Elektrisirmaschinen weit hinter sich läßt. Fig. 395 (a. f. S.) stellt eine Maschine der Art von mittlerer Größe dar. Der Dampfkessel, welcher 44 Centimeter im Durchmesser hat und 96 Centimeter lang ist, ruht auf vier Glasfüßen. Die Heizung ist inwendig in der Weise wie bei den Dampfkesseln auf Dampfschiffen angebracht.

Oben auf dem Dampfkessel befindet sich ein Hut, auf welchem ein kurzes, durch einen Hahn verschließbares Messingrohr befestigt ist; auf dieses kurze Rohr

Digitized by Google

können dann die Ausströmungsöffnungen aufgeschraubt werden, die alsbald näher beschrieben werden sollen.

Fig. 395.



Vor dem Hute sieht man ein Sicherheitsventil, dessen Gewicht verschiebbar ist, und welches so weit herausgerückt werden kann, daß der Dampf einen Druck von 90 Pfund auf den Quadratzoll ausüben muß, um das Ventil zu heben.

In Fig. 396 ist der Apparat mit den Ausströmungsöffnungen abgebildet, welcher auf den Dampfkessel aufgeschraubt wird, und zwar von oben gesehen.

Digitized by Google

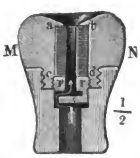
Zunächst tritt der Dampf in das gußeiserne Rohr bc und tritt dann durch sechs horizontale Röhren dd aus, welche in einem Kasten F von Messingblech stecken, der mit kaltem Wasser gefüllt wird, um einen Theil des durch die Röhren strömenden Dampfes zu condensiren, was die Wirkung sehr verstärkt.

Auf eine Oeffnung o im oberen Deckel des Kastens F wird ein Messingrohr aufgesetzt, welches in den Schornstein führt und durch welches die im Kasten F gebildeten Dämpfe entweichen.

Fig. 397 stellt eine der Ausströmungsöffnungen im Durchschnitt und zwar in $^1/_2$ der natürlichen Größe dar. An das Ende des Rohres wird ein Messingstück MN eingeschraubt, in welchem der das Ende der Ausströmungsröhre bildende Holzpflock $abcd$ steckt. Dieser der Länge nach durchbohrte Holzcylinder wird durch einen in das Messingstück MN eingeschraubten kurzen Messingcylinder r an seiner Stelle festgehalten. An diesem gleichfalls durchbohrten Cylinder r ist vorn vor seiner Oeffnung eine Messingplatte so angebracht, daß der Dampf den durch den Pfeil bezeichneten Umweg machen muß, um in die Ausströmungsöffnung zu gelangen.

Fig. 396.

Fig. 397.



Wenn der Apparat Fig. 396 auf den Dampfkessel aufgeschraubt ist und der Dampf die nöthige Spannkraft hat, wird durch eine Viertelumdrehung des Handgriffes t, Fig. 395, der Absperrhahn geöffnet; der Dampf strömt mit Gewalt aus den sechs Oeffnungen hervor, und alsbald wird auch der Kessel elektrisch. Der entweichende Dampf hat die entgegengesetzte Elektricität wie der Kessel; um aber eine möglichst starke Wirkung zu erhalten, muß die Elektricität des Dampfes möglichst abgeleitet werden; dies geschieht dadurch, daß man in den Dampfstrom eine Reihe von Metallspitzen stellt, welche, an einem messingenen Conductor befestigt, mit dem Boden in leitender Verbindung stehen. Dieser Conductor steht auf einem Glasfuße, so daß man ihn isoliren kann, um zu zeigen, daß der Dampf in der That die entgegengesetzte Elektricität des Kessels hat.

Mit dieser Hydroelektrisirmaschine läßt sich eine Batterie (§. 192) von 36 Quadratfuß Oberfläche in Zeit von 30 Secunden vollständig laden.

Die Quelle dieser starken Elektricitätsentwickelung ist nicht etwa, wie man anfangs glaubte, die Dampfbildung selbst, sondern lediglich die Reibung des mit Wassertheilchen vermischten heftig ausströmenden Dampfes an den Wänden der Ausströmungsröhren. Daß dies wirklich der Fall ist, geht daraus hervor, daß augenblicklich alle Elektricität verschwindet, wenn man das Sicherheitsventil öffnet, obgleich die Dampfbildung ununterbrochen fortdauert.

Zur Erzeugung der Elektricität ist es wesentlich, daß schon condensirte Wassertheilchen durch den ausströmenden Dampf mit durch die Ausströmungsröhren durchgetrieben werden; deshalb der Condensationsapparat F, Fig. 396.

Digitized by Google

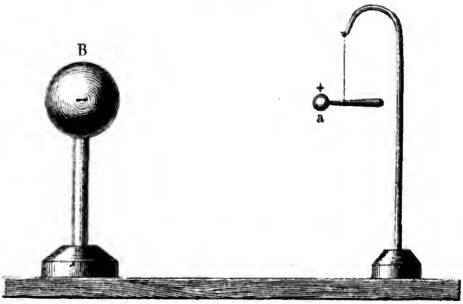
Wenn die Ausströmungsröhren lang genug sind, ist kein besonderer Abkühlungsapparat nöthig.

Wenn die Dampfmündung durch eine Holzröhre gebildet wird, wie es oben angegeben wurde, so ist der Kessel negativ, der Dampf positiv elektrisch; dasselbe ist der Fall bei Anwendung einer metallenen oder gläsernen Dampfmündung. Wendet man statt der hölzernen eine elfenbeinerne Röhre an, so zeigt der Kessel kaum Spuren einer Ladung.

Wenn man vor der Dampfmündung etwas Terpentinöl in die Ausströmungsröhre bringt, so wird der Kessel positiv und der Dampf negativ elektrisch.

189 **Abnahme der elektrischen Wirkungen mit zunehmender Entfernung.** Das Gesetz, nach welchem die elektrischen Anziehungen und Abstoßungen mit wachsender Entfernung abnehmen, läßt sich auf verschiedene Weise, z. B. auch durch die Oscillationen eines elektrischen Pendels nachweisen. Man läßt eine kleine Nadel von Schellack, die an einem Seidenfaden horizontal aufgehangen ist und welche an ihrem Ende eine kleine metallene Hohlkugel a, Fig. 398, trägt, unter dem Einflusse einer isolirten Kugel B

Fig. 398.



oscilliren, nachdem man sowohl der Kugel B als auch der kleinen Kugel a eine elektrische Ladung mitgetheilt hat. Sind a und B mit entgegengesetzten Elektricitäten geladen, so nimmt das Schellackstäbchen mit der Kugel a die in Fig. 398 angedeutete Stellung ein, sind aber a und B mit derselben Elektricität geladen, so wird das Schellackstäbchen eine solche Stellung einnehmen, daß a das von B abgewendete Ende desselben bildet. Etwas aus seiner Gleichgewichtslage in horizontaler Ebene entfernt wird nun das kleine horizontale Pendel um seine verticale Axe oscilliren, und aus der Schwingungsdauer kann man auf die Intensität der Wirkung schließen, welche die Elektricität, mit welcher B geladen ist, auf diejenige ausübt, welche a enthält.

Bezeichnen wir nun mit t die Schwingungsdauer des kleinen elektrischen Pendels für eine bestimmte Entfernung der beiden Kugeln, so wird man bei

Digitized by Google

gleicher Ladung die Schwingungsdauer nahe gleich $2t$, $3t \ldots nt$ finden, wenn der Abstand der beiden Kugeln 2mal, 3mal ... $n$mal so groß ist.

Nun aber ist die Schwingungsdauer irgend eines Pendels stets der Quadratwurzel aus der beschleunigenden Kraft, welche es treibt, umgekehrt proportional, wir haben also:

$$t : nt = \sqrt{\frac{1}{v}} : \sqrt{\frac{1}{v'}},$$

wenn wir mit v die beschleunigende Kraft bezeichnen, welche auf das kleine Pendel bei einfachem, und mit v' diejenige, welche auf dasselbe bei dem $n$fachen Abstand der Kugeln a und B wirkt. Aus obiger Gleichung ergiebt sich aber

$$v' = \frac{v}{n^2}.$$

Die Intensität der elektrischen Wirkung zwischen den beiden Kugeln a und B nimmt also in demselben Verhältniß ab, in welchem das Quadrat ihrer Entfernung wächst, oder wie man es gewöhnlich kurz ausdrückt: sie verhält sich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung.

Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche leitender Körper. 190 So lange ein Körper im natürlichen Zustande sich befindet, d. h. so lange die beiden elektrischen Fluida noch verbunden sind, sind sie wahrscheinlich ganz gleichförmig in der ganzen Masse des Körpers vertheilt. Sobald aber ein Leiter mit freier Elektricität geladen ist, wirken die einzelnen Theilchen dieser freien Elektricität abstoßend auf einander und entfernen sich deshalb so weit von einander, als nur irgend möglich ist, bis sie durch irgend ein Hinderniß aufgehalten werden. Ein vollkommen leitender Körper kann in seinem Inneren dieser Abstoßung kein Hinderniß entgegensetzen; die Elektricität wird sich deshalb auf seine Oberfläche begeben und würde sich noch weiter zerstreuen, wenn sich der Körper in einem für die Elektricität leicht durchdringlichen Raume befände. Die Elektricität verbreitet sich also stets auf der Oberfläche der Leiter und wird auf derselben durch die Luft zurückgehalten, welche sie gleichsam wie eine nicht leitende Schicht umgiebt.

Daß sich die freie Elektricität nur auf die Oberfläche der Körper und nicht im Inneren derselben verbreitet, läßt sich am einfachsten durch folgenden Versuch darthun:

Eine Kugel von Messingblech, welche oben mit einer Oeffnung versehen und durch einen Glasfuß isolirt ist, wie Fig. 399 (a. f. S.) zeigt, werde mit Elektricität geladen. Wenn man nun die äußere Oberfläche dieser Kugel an irgend einer Stelle mit einem Probescheibchen berührt, so wird dasselbe elektrisch, was nicht der Fall ist, wenn man mit dem Probescheibchen die innere Fläche der Hohlkugel berührt.

Es fragt sich nun, in welcher Weise sich die Elektricität auf der Oberfläche der Körper vertheilt.

Elektrisirt man eine isolirte Kugel, so erfordert schon das Gesetz der Sym-

Digitized by Google

metrie, daß sich die Elektricität auf der ganzen Oberfläche gleichförmig verbreitet, daß sie eine Schicht bildet, welche überall gleiche Dichtigkeit hat. Der Versuch bestätigt dies vollkommen. Wenn man einen isolirten kugelförmigen Leiter, welcher mit Elektricität geladen ist, mit dem Probescheibchen berührt und dessen Ladung an ein Elektroskop überträgt, so erhält man einen gleich großen Ausschlag, an welcher Stelle man auch die Kugel berühren mag.

Fig. 399.

Fig. 400.

Wenn der isolirte Leiter, den man elektrisirt, nicht kugelförmig ist, so findet auch keine gleichmäßige Vertheilung der Elektricität Statt, d. h. die elektrische Schicht, welche sich über den Körper verbreitet, hat nicht überall gleiche Dichtigkeit. Untersucht man z. B. mit Hülfe eines Probescheibchens die Dichtigkeit der Elektricität an verschiedenen Stellen eines eiförmigen isolirten Leiters, Fig. 400, so findet man, daß die Dichtigkeit der Elektricität am spitzen Ende bei *a* am größten, bei *b* aber am kleinsten ist.

Daß eine solche Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche von Körpern stattfinden müsse, welche nach verschiedenen Richtungen hin ungleiche Ausdehnung haben, läßt sich leicht einsehen; denn in Folge der gegenseitigen Abstoßung der einzelnen Theilchen des elektrischen Fluidums werden sie sich möglichst weit von der Mitte des Körpers entfernen, also vorzugsweise in den entferntesten Hervorragungen anhäufen.

Je mehr sich die Gestalt eines Körpers von der Kugelgestalt entfernt, desto ungleichförmiger vertheilt sich die Elektricität auf seiner Oberfläche, sie häuft sich an den von seiner Mitte entfernteren Enden am meisten an, und zwar um so mehr, je dünner sie sind. Es geht daraus hervor, daß, wenn man an einem isolirten Leiter eine Spitze anbringt, die Elektricität an dieser Spitze eine außerordentliche Dichtigkeit haben muß. Je dichter aber die Elektricität in einem Punkte ist, desto eher wird sie durch die Luft entweichen. Daher kommt es, daß aus Spitzen die Elektricität so leicht ausströmt. Man kann eine Menge

Digitized by Google

von Versuchen anstellen, durch welche dieses Vermögen der Spitzen bewiesen wird; wir wollen jedoch nur einige hervorheben.

1. Wenn man den Conductor einer Elektrisirmaschine mit einer Spitze versieht, so ist es unmöglich, ihn so zu laden, daß man aus ihm Funken ziehen könnte, namentlich, wenn man der Spitze einen nicht isolirten Leiter entgegenhält.

2. Wenn man eine Spitze, die mit dem Boden in leitender Verbindung steht, dem Conductor der Maschine nähert, so ist es gleichfalls unmöglich, ihn zu laden. Die Elektricität des Conductors zerlegt die verbundenen Elektricitäten der Spitze, sie stößt die gleichnamige ab und zieht die ungleichnamige an; diese ungleichnamige Elektricität häuft sich in der Spitze so stark an, daß sie nach dem Conductor überströmt, um seine Elektricität zu neutralisiren.

Auf die erwähnte Eigenschaft der Spitzen gründet sich auch die Construction der Blitzableiter.

Winkel und scharfe Kanten, die sich an leitenden Körpern befinden, wirken ganz auf dieselbe Weise wie die Spitzen. Man muß deshalb sorgfältig alle eckigen Formen vermeiden, wenn man Apparate construiren will, welche bestimmt sind, eine elektrische Ladung aufzunehmen und zu halten.

Gebundene Elektricität. Wir haben schon (§. 183) gesehen, daß ein 191
isolirter Leiter, welcher in der Nähe eines elektrischen Körpers steht, durch Vertheilung elektrisch wird, und daß er, mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt, doch mit derjenigen Elektricität geladen bleibt, welche der des vertheilenden Körpers entgegengesetzt ist. Wenn zwei isolirte Leiter einander nahe stehen, von welchen der eine mit $+E$, der andere mit $-E$ geladen ist, so wird jeder einen Theil der Elektricität auf dem anderen zurückzuhalten, d. h. zu binden im Stande sein. Je näher die beiden Elektricitäten einander gebracht werden, desto stärker ziehen sie sich an, desto vollständiger ist also auch ihre gegenseitige Bindung; wenn aber die beiden Leiter nur durch eine Luftschicht getrennt sind, so kann man sie einander nicht sehr nähern, ohne daß die Luftschicht durchbrochen wird und ein Funken überspringt. Wenn also die Bindung möglichst vollkommen sein soll, so müssen die beiden mit entgegengesetzten Elektricitäten geladenen Leiter nicht durch Luft, sondern durch einen anderen Isolator getrennt sein, welcher dem Uebergange der Elektricität einen größeren Widerstand entgegensetzt; man wählt dazu am besten Glas oder Harz.

Um die Erscheinungen der gebundenen Elektricität näher zu untersuchen, kann man die Franklin'sche Tafel benutzen, welche in Fig. 401 (a. f. S.) von vorn und in Fig. 402 von der Seite gesehen dargestellt ist. Sie besteht aus einer ungefähr 1 Quadratfuß großen Glasscheibe, deren Mitte auf jeder Seite mit Stanniol belegt ist, so daß das Glas an dem Rande ungefähr handbreit frei bleibt. An jeder Belegung ist ein elektrisches Pendel (ein an einem leinenen Faden hängendes Korkkügelchen) angebracht, wie es die Figuren zeigen.

Wenn man nun die vordere Belegung mit positiver, die hintere mit negativer Elektricität ladet, so sind die beiden entgegengesetzten Elektricitäten nur durch die Dicke der Glasscheibe von einander getrennt; die gegenseitige Bindung

Digitized by Google

kann also ziemlich vollständig sein. Diese Bindung macht es aber auch möglich, auf den Belegungen der Franklin'schen Tafel weit größere Elektricitätsmengen anzuhäufen, als außerdem möglich gewesen wäre, wie sich aus folgender Betrachtung ergiebt.

Fig. 401.

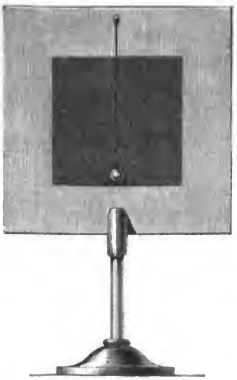
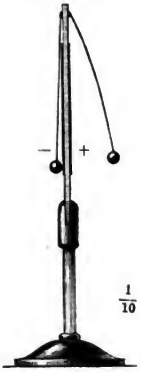


Fig. 402.



Es sei die vordere Belegung der Franklin'schen Tafel (etwa die auf der rechten Seite, Fig. 402) mit einer bestimmten Quantität positiver Elektricität geladen, die wir mit $+E$ bezeichnen wollen, so wird sich die hintere Belegung, wenn sie ableitend berührt ist, mit gebundener negativer Elektricität laden.

Die Quantität e der auf der Hinterfläche gebundenen negativen Elektricität ist aber gleich nE, wenn n einen ächten Bruch bezeichnet, welcher sich der Einheit um so mehr nähert, je dünner die Glasplatte ist.

Die negative Elektricität der hinteren Belegung wirkt aber bindend zurück auf die positive der vorderen, und zwar ist die Quantität, welche sie zu binden vermag, gleich ne oder gleich n^2E; es bleibt auf der vorderen Belegung also die Elektricitätsmenge

$$a = E - n^2E = E(1 - n^2) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

als freie Elektricität übrig.

Damit also auf der einen Belegung der Franklin'schen Tafel eine bestimmte Quantität Elektricität vollständig gebunden sei, muß sich auf der andern Belegung ein entsprechender Ueberschuß freier Elektricität des entgegengesetzten Zeichens befinden.

Während das elektrische Pendel auf derjenigen Seite der geladenen Franklin'schen Tafel frei vertical herabhängt, auf welcher alle Elektricität gebunden ist, wird das Pendel auf der anderen Seite, auf welcher sich ein Ueberschuß freier Elektricität befindet, abgestoßen, wie Fig. 402 zeigt.

Berührt man ableitend diejenige Belegung, auf welcher sich ein Ueberschuß freier Elektricität befindet, während die andere isolirt bleibt, so fällt an der erste-

Digitized by Google

ren das Pendel herab, während es an der letzteren steigt. So kann man abwechselnd auf der einen und dann wieder auf der anderen Seite der Franklin'schen Tafel den Ueberschuß freier Elektricität wegnehmen und so die Tafel nach und nach entladen.

Die Ladung der Franklin'schen Tafel wird dadurch bewerkstelligt, daß man die eine Belegung derselben mit dem Conductor der gedrehten Elektrisirmaschine, die andere mit dem Boden in leitende Verbindung setzt.

Die Gränze der Ladung der mit dem Conductor der Maschine verbundenen Belegung ist erreicht, wenn die Dichtigkeit der auf ihr vorhandenen freien Elektricitätsmenge a so groß geworden ist, daß ihr in jedem Moment gerade eben so viel Elektricität in die Umgebung entströmt, als ihr vom Conductor zugeführt wird.

Wenn die hintere Belegung der Tafel isolirt bleibt, so bleibt alle der vordern Belegung mitgetheilte Elektricität frei; die Gränze der Ladung wird in diesem Fall erreicht sein, sobald die oben mit a bezeichnete Elektricitätsmenge der vordern Belegung zugeführt worden ist, was schon mit 1 oder 2 Umdrehungen der Maschine erreicht wird.

Wenn aber die hintere Belegung ableitend berührt ist, so muß nach den obigen Betrachtungen die vordere Belegung eine viel größere Elektricitätsmenge E enthalten, wenn sich auf ihr die Quantität a an freier Elektricität befinden soll. Nach Gleichung 1) haben wir nämlich

$$E = \frac{a}{1 - n^2}.$$

Wäre z. B. die Glastafel so dick, daß $n = 0{,}95$, so würde

$$E = 10\,a$$

sein. Für den Fall also, daß die hintere Belegung ableitend berührt ist, würde eine 10mal so große Elektricitätsmenge auf der Franklin'schen Tafel angehäuft werden können, als für den Fall, daß die hintere Bewegung isolirt bliebe oder gar nicht vorhanden wäre.

Wenn die hintere Belegung ableitend berührt ist, so bedarf es in der That eines längeren Drehens der Maschine, bis das Pendel an der vorderen Belegung durch sein Aufsteigen anzeigt, daß die Gränze der Ladung erreicht sei.

Die Leydner Flasche ist nur eine veränderte Form der Franklin'- 192
schen Tafel; sie besteht aus einem Glasgefäße, welches außen mit Stanniol überklebt ist, welche Belegung bis auf einige Zoll vom Rande hinaufreicht; innen ist das Gefäß auf ähnliche Weise mit einer Belegung versehen oder mit einer leitenden Substanz, etwa Eisenfeile oder Schrotkörnern, gefüllt. Die innere Belegung ist mit einem Messingstabe verbunden, welcher durch den Stopfen oder den Deckel des Gefäßes hindurchgeht und mit einem Knopfe endigt. Fig. 403 und 404 (a. f. S.) stellen zwei Formen der Leydner Flasche dar. Es ist gut, wenn der nicht belegte Theil des Glases gefirnißt ist. Um die Flasche zu laden, bringt man die äußere Belegung mit dem Boden, den Knopf mit dem Conductor der Maschine in leitende Verbindung.

Digitized by Google

Die Leydner Flaschen entladen sich manchmal von selbst, indem entweder ein Funken von der äußeren Belegung zu dem Metallstabe überspringt, oder indem das Glas durchbrochen wird. Im letzteren Falle ist die Flasche natürlich für die Folge unbrauchbar.

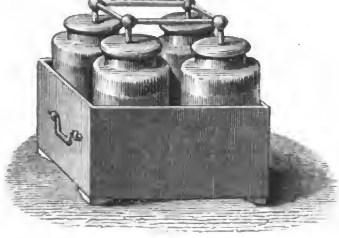
Fig. 403.

Fig. 404.

Wenn man zur Entladung der Flasche mehrere Leiter zugleich anwendet, so theilt sich der Entladungsschlag im Verhältnisse ihrer Leitungsfähigkeit. Drückt man z. B. mit der einen Hand einen Metalldraht an die äußere Belegung, so kann man ungestraft mit der anderen Hand das andere Ende des Drahtes an den Knopf halten; der Entladungsschlag geht durch das Metall und nicht durch den Körper, weil das Metall ungleich besser leitet; der Draht darf jedoch nicht zu dünn sein.

Um recht starke Ladungen zu erhalten, muß man möglichst große Flaschen nehmen, oder man muß mehrere Flaschen zu einer elektrischen Batterie verbinden. Eine solche Batterie ist in Fig. 405 dargestellt. Alle äußeren Belegungen der Flaschen sind unter sich in leitender Verbindung, ebenso alle inneren Belegungen.

Fig. 405.



Wenn der Entladungsschlag einer Leydner Flasche durch den menschlichen Körper hindurchgeht, so bringt er auf das Gefühl eine eigenthümliche, schwer zu beschreibende Empfindung, ein unwillkürliches Zucken der Nerven hervor. Am besten macht man den Versuch, wenn man mit einer Hand die äußere Belegung, mit der anderen den Knopf anfaßt. Bei schwächeren Ladungen ist der Schlag nur in den Vorderarmen fühlbar; bei stärkeren fühlt man ihn auch im Oberarme, und wenn die Ladung noch stärker gemacht wird, so bringt der Schlag einen heftigen Schmerz in der Brust hervor. Sehr starke Schläge können in der That gefährlich werden. Um kleinere Thiere, wie Vögel, Hasen u. s. w., durch den elektrischen Schlag zu tödten, hat man noch nicht einmal größere Batterien nöthig, mit welchen

Digitized by Google

man selbst noch größere Thiere tödten kann. An den durch einen elektrischen Schlag getödteten Thieren hat man bei der anatomischen Untersuchung derselben bis jetzt noch keine Verletzung der Organe entdecken können; nach den Zuckungen aber, welche sie machen, wenn der Schlag nicht ganz hinreichend war, um sie zu tödten, kann man beurtheilen, wie heftig das Nervensystem angegriffen worden ist.

Wenn mehrere Personen eine Kette bilden, indem sie einander die Hände geben, und die erste die äußere Belegung der Flasche, die letzte den Knopf anfaßt, so fühlen alle den Schlag auf einmal.

Brennbare Flüssigkeiten kann man mit Hülfe der Leydner Flasche weit sicherer anzünden als mit dem directen Funken vom Conductor der Maschine. Selbst gepulvertes Colophonium, welches man auf Baumwolle streut, und Schießpulver kann man mit dem Entladungsfunken der Leydner Flasche entzünden.

Um eine Flasche oder eine Batterie bequem entladen zu können, wendet man den Ausladen, Fig. 406, an. Die beiden Messingkugeln *a* und *b* sind am Ende zweier Messingarme befestigt, die bei *c* durch ein Charnier verbunden sind. Das Charnier sitzt auf einer Messinghülse, welche auf den isolirenden Glasstab *m* aufgekittet ist. Der Experimentator nimmt diesen Glasstab in die Hand, bringt die eine Kugel in leitende Verbindung mit der äußeren Belegung und nähert dann rasch die andere Kugel dem Knopfe der inneren Belegung.

Fig. 406.

Um verschiedene Gegenstände bequem in den Weg des Entladungsschlages einschalten zu können, wendet man den Henley'schen Ausladen, Fig. 407 (a. f. S.), an. Der Körper, durch welchen man den Schlag hindurchführen will, wird zwischen die Kugeln *d* und *f* gebracht, welche an die durch die Charniere *r* und *s* beweglichen und durch die Glassäulen *h* isolirten Messingstäbchen angeschraubt sind; *c* wird mit der äußeren Belegung der geladenen Flasche in Verbindung gebracht, *g* durch einen Draht oder ein Metallkettchen mit der Kugel *a* des Ausladers, Fig. 406, verbunden, und dann rasch die Kugel *b* desselben dem Knopfe der inneren Belegung genähert.

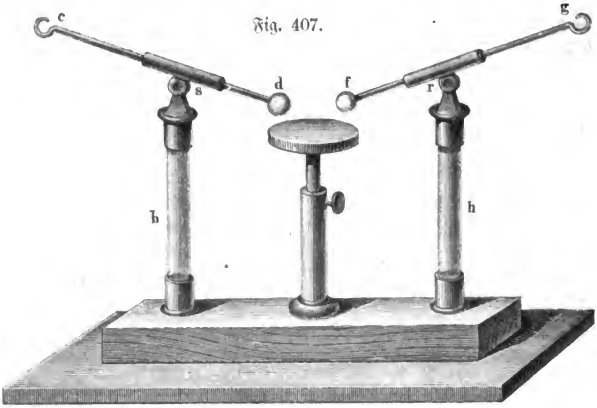
Wenn man die Kugeln *d* und *f* durch einen sehr dünnen Eisendraht verbindet, so wird dieser erwärmt, wenn ein schwacher Schlag hindurchgeht; eine stärkere Ladung macht ihn rothglühend, und eine noch stärkere macht, daß er in einzelnen geschmolzenen Kügelchen auseinanderfährt, die weithin fortgeschleudert werden.

Schlechte Leiter, welche den Weg des Entladungsschlages unterbrechen, werden, wenn die Anhäufung der Elektricität bedeutend genug ist, zertrümmert oder durchlöchert. Eine Holzscheibe z. B., welche 3 bis 4 Zoll Durchmesser hat und 3 bis 5 Linien dick ist, wird von dem Entladungsschlage durchbohrt.

Digitized by Google

Ebenso ein oder mehrere Kartenblätter, Pappendeckel u. s. w. Um den Versuch zu machen, bringt man den zu durchlöchernden Körper zwischen die beiden

Fig. 407.



Kugeln des Henley'schen Entladers, und zwar so, daß diese Kugeln den eingeschobenen Körper berühren.

193 **Der Condensator.** Eigentlich ist jeder Apparat ein Condensator, in welchem gebundene Elektricität angehäuft wird, also auch die Franklin'sche Tafel und die Leydner Flasche. Man wendet jedoch diese Benennung nur für solche Apparate an, welche dazu dienen, Elektricität von sehr geringer Spannung durch Verdichtung merklich zu machen. Im Wesentlichen bestehen alle Condensatoren aus zwei leitenden Platten, welche durch eine nichtleitende Schicht getrennt sind. Indem wir die unvollkommneren Instrumente der Art übergehen, soll hier nur von dem Condensator die Rede sein, wie man ihn in Verbindung mit dem Goldblattelektrometer anwendet. Auf das Goldblattelektrometer wird eine Metallplatte aufgeschraubt, wie man sie Fig. 408 sieht. Diese Platte ist möglichst eben abgeschliffen und auf ihrer oberen Fläche mit einer dünnen Schicht von Schellackfirniß versehen. Eine zweite auf dieselbe Weise präparirte Platte, welche mit einem isolirenden Stiele versehen ist, wird nun mit ihrer gefirnißten Fläche auf die andere gesetzt, so daß die beiden Metallplatten nur durch die dünne Firnißschicht getrennt sind, sonst aber so vollkommen als nur immer möglich auf einander passen. Die Anordnung entspricht der Franklin'schen Tafel vollkommen, die Glasplatte ist durch die dünne Schellackschicht ersetzt, die Platten dienen statt der Belegungen, nur kann man hier die obere Platte nach Belieben abheben, während die beiden Belegungen der Franklin'schen Tafel fest sind. Weil die isolirende Schicht sehr dünn ist, die Platten also einander sehr nahe sind, so ist hier die elektrische Bindung sehr stark. Bringt man die

Digitized by Google

untere Condensatorplatte mit einer Elektricitätsquelle von geringer Spannung in Berührung, während man die obere ableitend mit dem Finger berührt, so wird der Condensator ganz auf dieselbe Weise geladen, wie eine Leydner Flasche, deren äußere Belegung nicht isolirt ist, während die innere mit dem Conductor der Maschine in Verbindung steht. Der ganze Unterschied liegt nur darin, daß man einmal eine Elektricitätsquelle von großer, das andere Mal eine solche von geringer elektrischer Spannung hat; in beiden Fällen aber findet auf gleiche Weise eine Verdichtung der E Statt.

Fig. 408.

Ist der Condensator geladen, so wird die obere Platte abgehoben; dadurch wird die bis dahin gebundene E der unteren Platte frei, sie verbreitet sich über die Goldblättchen und bewirkt eine namhafte Divergenz, während die schwache Elektricitätsquelle ohne Vermittelung des Condensators keine merkliche Wirkung hervorbringen konnte. Weiter unten, bei der Lehre vom Galvanismus, werden wir verschiedene Anwendungen dieses Condensators kennen lernen.

Das elektrische Licht in der Luft und in anderen Gasen. 191 Die Schlagweite, auf welche hin man aus einem elektrisirten Körper einen Funken ziehen kann, hängt von der Leitfähigkeit der Substanz, von der Größe ihrer Oberfläche und von der Stärke der elektrischen Ladung ab. Aus eckigen Körpern und aus Spitzen strömt die Elektricität von selbst, schon bei ganz schwacher Spannung aus, und man beobachtet dabei im Dunkeln glänzende Lichtbüschel, die oft mehrere Zoll lang sind. Bei runden Körpern sind schon sehr starke Ladungen nöthig, wenn Büschel hervorsprühen sollen; wenn man ihnen aber einen mit dem Boden in Verbindung stehenden Leiter nähert, so springen Funken, nach Umständen selbst auf große Entfernungen über, die dann einen dem Blitze ähnlichen Zickzack bilden.

Will man die Funken vervielfältigen, so muß man den Leiter, durch wel-

Digitized by Google

chen die Elektricität in den Boden überströmt, oft unterbrechen; darauf beruhen mehrere Spielereien.

Blitzröhren sind Glasröhren, auf welche man rautenförmige Stanniolblättchen so aufgeklebt hat, daß ihre einander zugekehrten Spitzen etwa so nahe stehen, wie man Fig. 409 sieht. Gewöhnlich klebt man sie so auf, daß sie eine um die Röhre laufende Schraubenlinie bilden. Wenn man das eine Ende einer solchen Röhre in der Hand hält und das andere an den Conductor der Maschine bringt, während sie gedreht wird, so sieht man im Dunkeln fortwährend zwischen je zwei Rauten Funken überspringen, so daß eine fast zusammenhängende Lichtlinie auf der Röhre erscheint.

Fig. 409.

Eine **Blitztafel** ist Fig. 410 dargestellt. Auf eine Glastafel ist eine Reihe von Stanniolstreifen aufgeklebt, wie man es in der Figur sieht, so daß von *a* bis *z* eine metallische Leitung ginge, wenn sie nicht

Fig. 410.

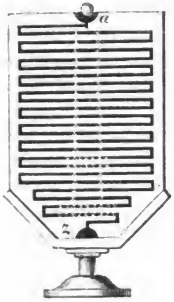
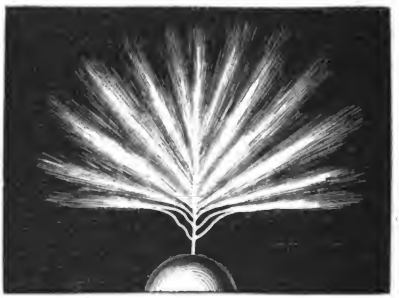


Fig. 411.



an den mit × bezeichneten Stellen unterbrochen wäre. Wenn man nun *z* mit der äußeren Belegung einer Leydner Flasche in Verbindung bringt und dann eine leitende Verbindung zwischen *a* und dem Knopfe der Flasche herstellt, so springen gleichzeitig an den Unterbrechungsstellen Funken über. Man kann auf diese Weise Namenszüge und allerlei Figuren darstellen.

Man hat diese Spielereien noch auf mannigfache Weise abgeändert; diese Beispiele mögen jedoch genügen.

Der Lichtbüschel, welchen man im Dunkeln beobachtet, wenn man auf den Conductor der Elektrisirmaschine eine Spitze aufsetzt, von welcher die Elektricität ausströmt, ist in Fig. 411 dargestellt. Die negative (Harz-) Elektricität giebt niemals so divergente und große Lichtbüschel wie die positive. Dieses merkwürdige Phänomen ist sehr beachtenswerth, weil es einen unterscheidenden Charakter der beiden elektrischen Flüssigkeiten darzubieten scheint.

Wenn man eine Metallspitze in die Hand nimmt und sie dem Conductor der Maschine nähert, so beobachtet man auch den Lichtbüschel.

In verdichteter atmosphärischer Luft ist der Funken einer Elektrisirmaschine

Digitized by Google

sehr lebhaft, in Kohlensäuregas weiß und intensiv, in Wasserstoffgas roth und schwach, in Wasserdampf gelb, in Alkohol und Aetherdampf apfelgrün.

Die Lichterscheinungen der Maschinenelektricität sind eine treue, wenn auch schwache Nachbildung der elektrischen Lufterscheinungen, welche man bei Gewittern beobachtet.

Elektrisches Licht im verdünnten Raume. Im luftver- 195
dünnten Raume findet das Ueberspringen des elektrischen Funkens viel leichter und auf große Entfernungen Statt, wobei sich denn auch das Licht um so mehr ausbreitet, zugleich aber auch an Glanz verliert, je weiter die Luftverdünnung getrieben wird.

Um Versuche über das elektrische Licht im luftleeren Raume anzustellen, gebraucht man gewöhnlich das elektrische Ei, Fig. 412; es besteht aus einem elliptisch geformten Glasgefäß, welches oben und unten mit Metallfassungen versehen ist; die untere, welche mit einem Hahn *h* versehen ist und eine in das Glasgefäß hineinragende Kugel *a* trägt, kann auf die Luftpumpe aufgeschraubt und dann der innere Raum evacuirt werden. Die obere Fassung ist mit einer Stopfbüchse versehen, durch welche ein oben mit dem Ringe *c*, unten mit der Kugel *b* endigendes Messingstäbchen hindurchgeht. Durch Auf- oder Niederschieben dieses Stäbchens kann man die Entfernung der beiden Kugeln *a* und *b* beliebig ändern.

Fig. 412.

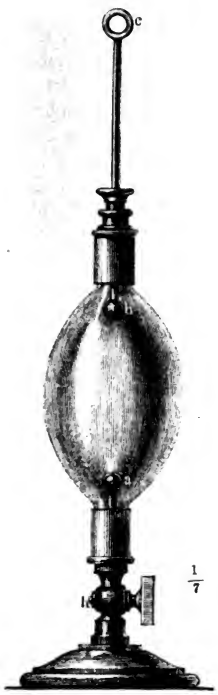


Fig. 413.

Ist der Apparat luftleer gemacht worden, so wird der Hahn *h* geschlossen und die untere Fassung mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt. Wenn man nun mittelst des Ausladers, Fig. 406, von dem Conductor der Elektrisirmaschine Funken auf den Ring überschlagen läßt, so strömen förmliche Lichtgarben zwischen den beiden Kugeln

Digitized by Google

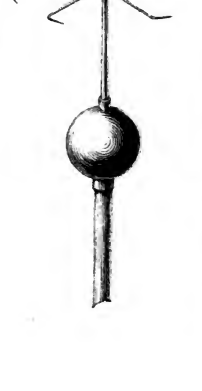
über, welche das Ei mit einem milden purpurfarbenen Lichte erfüllen. Läßt man allmälig Luft einströmen, so nimmt die Ausdehnung der Lufterscheinung mehr und mehr ab, sich mehr und mehr der gewöhnlichen Form des elektrischen Funkens nähernd.

Picard bemerkte zuerst, daß ein Barometer im Dunkeln leuchtet, wenn das Quecksilber auf und nieder schwankt, und bald überzeugte man sich, daß diese Erscheinung von der durch die Reibung des Quecksilbers an den Wänden der Röhre entwickelten Elektricität herrühre. Um das elektrische Licht in der Toricelli'schen Leere zu beobachten, construirte Cavendish das Fig. 413 (a. v. S.) dargestellte Doppelbarometer, dessen Anwendung wohl ohne weitere Erklärung verständlich ist.

196 **Der elektrische Geruch.** Wenn aus irgend einer Hervorragung am Conductor der Elektrisirmaschine die Elektricität ausströmt, so bemerkt man einen eigenthümlichen Geruch, den man den elektrischen Geruch nennt. Dieser Geruch rührt von einem eigenthümlichen Gase, dem Ozon, her, welches sich unter dem Einflusse der Elektricität bildet, und welches in seinem Verhalten viele Aehnlichkeit mit Chlor hat; es zersetzt z. B. wie das Chlor das Jodkalium; hält man gegen eine am Conductor der Maschine befindliche Spitze, welche einen Büschel und mit ihm den elektrischen Geruch giebt, ein Stück Papier, welches mit Jodkaliumkleister (Stärkekleister mit etwas Jodkalium) bestrichen ist, so wird der Kleister blau gefärbt, indem unter dem Einflusse des Ozons das Jodkalium zersetzt wird und das frei werdende Jod die Stärke blau färbt.

Auch ohne alle Elektricität, auf rein chemischem Wege läßt sich das Ozon erzeugen. Bringt man ein Stückchen Phosphor in ein Arzneiglas, in welchem sich so viel Wasser befindet, daß das Phosphorstück zur Hälfte herausragt, so zeigt die in der Flasche befindliche Luft nach einiger Zeit einen höchst intensiven Ozongeruch; hängt man einen Papierstreifen mit Jodkaliumkleister in die Flasche, so wird der Kleister blau.

Fig. 414.



Wahrscheinlich ist das Ozon eine eigenthümliche Modification des Sauerstoffs.

197 **Bewegungen, welche durch das Ausströmen von Elektricität hervorgebracht werden.** Die Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen sind bereits besprochen worden; es bleiben hier nur noch einige andere durch die Elektricität bewirkte Bewegungen zu betrachten. Auf eine leitende Spitze, Fig. 414, welche mit dem Conductor der Maschine in Verbindung steht, ist ein aus Metalldrähten gebildetes, leicht in horizontaler Ebene umdrehbares Rädchen aufgesetzt. Die zugespitzten Enden der Drähte sind, von der Mitte aus gesehen, alle nach derselben Richtung umgebogen. Ein solcher

Digitized by Google

Apparat führt den Namen eines elektrischen Flugrades. Sobald die Maschine gedreht wird, beginnt das Flugrad zu rotiren, und wenn man es im Dunkeln beobachtet, sieht man an den Spitzen die Elektricität in Gestalt von Lichtbüscheln ausströmen.

Diese Bewegung wird durch das Ausströmen des elektrischen Fluidums aus den Spitzen hervorgebracht und ist eine der Umdrehung der Segner'schen Wasserräder ganz entsprechende Erscheinung.

Bewegungen durch den elektrischen Rückschlag. 198

Froschschenkel, die in der Nähe eines Conductors einer Elektrisirmaschine aufgehängt sind, scheinen gar keine Veränderung zu erleiden, wenn durch Drehen der Maschine der Conductor mit $+ E$ geladen wird; ein solcher Froschschenkel aber wird durch Vertheilung geladen, wenn er an einer leitenden Schnur aufgehängt ist. Sobald man nun aus dem Conductor einen Funken zieht, bringt die plötzliche Wiedervereinigung der Elektricitäten in dem Froschschenkel Zuckungen hervor, ein Beweis, daß bei der Rückkehr in den natürlichen Zustand die Moleküle durch den Druck der elektrischen Flüssigkeiten afficirt werden, welche sich wieder zu vereinigen streben. Diese Wirkungen werden mit dem Namen des Rückschlags bezeichnet. Der Versuch gelingt nur mit einem eben getödteten oder noch besser mit einem noch lebenden Frosche.

In der Nähe einer kräftigen Maschine empfindet auch ein Mensch, der mit dem Boden in leitender Verbindung steht, ähnliche Schläge. Ebenso wirken auch die Entladungen der Gewitterwolken; sie können nämlich durch einen directen Schlag und durch den Rückschlag wirken.

Digitized by Google

Drittes Capitel.

Vom Galvanismus.

199 **Galvani's Entdeckung.** Im Jahre 1789 machte Galvani zu Bologna eine Entdeckung, durch welche ein ganz neues Feld für die Physik eröffnet wurde. Diese Entdeckung war die Beobachtung der scheinbar unbedeutenden Thatsache, daß frisch präparirte Froschschenkel, mittelst kupferner Häkchen an einem eisernen Balkongeländer aufgehangen, in Zuckungen geriethen, so oft die Schenkelmuskeln durch den Wind mit dem eisernen Geländer in Berührung gebracht wurden. Das kupferne Häkchen war mit den Schenkelnerven in Berührung.

Fig. 415.

Man glaubte anfangs, diese Erscheinung durch eine Art Nervenflüssigkeit erklären zu können, welche dem elektrischen Fluidum ähnlich sein sollte; man dachte sich den organischen Körper in Beziehung auf diese Flüssigkeit ungefähr wie eine Leydner Flasche, deren Belegungen einerseits die Nerven, andererseits die Muskeln sind. Eine Entladung sollte stattfinden, sobald Nerven und Muskeln in leitende Verbindung gebracht werden, was bei dem Versuche Galvani's durch die Kupferhäkchen und das eiserne Geländer der Fall war.

Alexander Volta wiederholte Galvani's Versuche mit unermüdlicher Aufmerksamkeit und fand bald, daß ein zum Gelingen des Versuches sehr wichtiger Umstand bis dahin ganz übersehen worden war. Um nämlich eine starke Wirkung zu haben, ist es durchaus nöthig, daß der Leitungsbogen, welcher die Nerven und Muskeln verbindet, aus zwei verschiedenen Metallen besteht, welche mit einander in Berührung sind.

Den Galvani'schen Fundamentalversuch kann man leicht in folgender Weise anstellen: Man präparire den Unterschenkel eines frisch getödteten und enthäuteten Frosches

Digitized by Google

so, daß noch ein möglichst großes Stück des zum großen Wadenmuskel *e* führenden Nerven daran bleibt, wie Fig. 415 zeigt. Legt man dieses Präparat auf eine Glasplatte, berührt man dann das Muskelfleisch mit einem Streifchen Zinkblech, den Nerven mit einem Stücke Kupferdraht, so zuckt der Schenkel, sobald man die beiden Metalle in Berührung bringt.

Volta behauptete nun, daß der Froschschenkel nicht wie eine Leydner Flasche zu betrachten sei, daß die hier wirkende Elektricität weder in den Nerven noch in den Muskeln, sondern durch die Berührung der beiden Metalle entwickelt werde und daß sie mit dem gewöhnlichen elektrischen Fluidum vollkommen identisch sei.

Volta's Fundamentalversuch. Den Beweis, daß die Berührung verschiedener Metalle die Quelle einer Elektricitätsentwickelung sei, suchte Volta mit Hülfe des in §. 193 besprochenen Condensators und zwar in folgender Weise zu führen, welche man mit dem Namen des Volta'schen Fundamentalversuchs bezeichnet. 200

Nachdem man die beiden aus Kupfer oder Messing verfertigten Condensatorplatten gehörig auf einander gesetzt hat, wird die untere mit einem in der Hand gehaltenen Stück Zink, die andere aber ableitend mit dem Finger berührt, wie Fig. 416 zeigt. Zieht man nun, nachdem die Berührung nur kurze Zeit gedauert hat, den Finger von der oberen, das Zink von der unteren Platte zurück, hebt man darauf die obere Condensatorplatte ab, so erhält man eine merkliche Divergenz der Goldblättchen, und zwar divergiren sie mit negativer Elektricität.

Fig. 416.

Nach Volta ist der Sitz der Elektricitätsentwickelung, welche durch diesen Versuch nachgewiesen wurde, die Berührungsstelle zwischen Kupfer und Zink. Der Volta'sche Fundamentalversuch läßt sich aber auch durch die Annahme erklären, daß der Sitz der Elektricitätsentwickelung in der Berührungsstelle des Zinks mit der mehr oder weniger feuchten Hand zu

Digitized by Google

suchen sei. In der That gelingt der Versuch weit sicherer, wenn man die Hand mit etwas Salzwasser befeuchtet.

Daß wirklich an der Berührungsstelle von Metallen mit reinem oder gesäuertem Wasser eine Elektricitätsentwickelung stattfindet, wird durch folgenden Versuch bewiesen:

Auf ein Goldblattelektrometer schraube man eine (ungefirnißte) Zinkplatte, auf welche eine etwas überragende, möglichst dünne Glasplatte gelegt wird, wie Fig. 417 zeigt. Auf die Glasplatte wird eine Scheibe Löschpapier gelegt, welche mit der Zinkplatte ungefähr gleichen Durchmesser hat, und dieses Papier mit etwas gesäuertem Wasser befeuchtet. Bringt man nun die Zinkplatte mit der feuchten Scheibe nur auf ganz kurze Zeit durch einen Zinkdraht in Berührung, so erhält man eine Divergenz der Elektrometerpendel, wenn man nach Entfernung des Drahtes die Glasplatte abhebt, und zwar zeigt sich das Elektroskop mit negativer Elektricität geladen.

Fig. 417.

Dieser Versuch zeigt zweifellos, daß Zink in Berührung mit gesäuertem Wasser eine negativ elektrische Ladung annimmt.

Der Erfolg des Volta'schen Fundamentalversuchs läßt sich also auch so erklären, daß die negativ-elektrische Ladung, welche das Zink durch Berührung mit der feuchten Hand annimmt, auf die Condensatorplatte übergeht, ohne daß man eine weitere Elektricitätsentwickelung an der Berührungsstelle des Zinks mit dem Kupfer (oder Messing) anzunehmen nöthig hätte.

Die Elektricitätserregung durch Berührung von Metallen und Flüssigkeiten ist zweifellos nachgewiesen. Ob aber auch bei der Berührung verschiedenartiger Metalle Elektricität entwickelt werde oder ob sich die Versuche, welche dies beweisen sollen, nicht auch noch auf andere Weise erklären lassen, darüber sind die Physiker noch nicht einig. Jedenfalls aber läßt sich die Theorie der Volta'schen Säule, welche in §. 202 besprochen werden wird, viel leichter und einfacher entwickeln, wenn man die in derselben auftretende Elektricität nur aus der Berührung zwischen den Metallen und der Flüssigkeit ableitet, als wenn man außerdem auch noch eine Elektricitätsentwickelung an der Berührungsstelle verschiedenartiger Metalle annimmt.

Aus diesem Grunde wird in den folgenden Paragraphen von einer Elektricitätsentwickelung durch Berührung heterogener Metalle keine Rede mehr sein.

201 **Die elektromotorische Kraft.** Wenn man den durch Fig. 417 erläuterten Versuch in der Weise wiederholt, daß man die Zinkplatte durch eine

Digitized by Google

Kupferplatte und den Zinkdraht durch einen Kupferdraht ersetzt, so findet man, daß das Kupfer in Berührung mit dem gesäuerten Wasser ebenfalls negativ elektrisch wird, wenn auch in weit geringerem Grade als es beim Zink der Fall war.

Wiederholt man den Versuch in gleicher Weise mit einer Platinplatte und mit einem Platindraht, so nimmt das Platin in Berührung mit der verdünnten Schwefelsäure eine positive Ladung an.

Bezeichnet man mit — 1 die elektrische Ladung, welche Kupfer in Berührung mit stark verdünnter Schwefelsäure annimmt, so ist ungefähr

— 10	die elektrische Ladung, welche	Zink,			
— 5	„	„	„	„	Eisen, und
+ 2,5	„	„	„	„	Platin

in Berührung mit derselben Flüssigkeit erhielt.

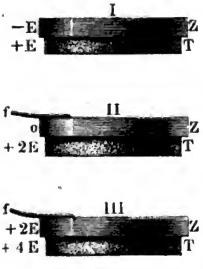
An der Berührungsfläche eines Metalls und einer Flüssigkeit ist also eine Kraft thätig, welche man als elektromotorische Kraft bezeichnet und welche die Zerlegung der bis dahin verbundenen Elektricitäten in ähnlicher Weise bewerkstelligt, wie man es an der Berührungsfläche geriebener Körper beobachtet.

Die Art und die Stärke des elektrischen Gegensatzes, in welchen die beiden in Berührung gebrachten Körper treten, hängt von ihren chemischen Eigenschaften ab. Im Allgemeinen werden diejenigen Metalle in Berührung mit einer bestimmten Flüssigkeit am stärksten negativ erregt, welche am stärksten von derselben angegriffen werden.

Die elektromotorische Kraft, welche den elektrischen Gegensatz der beiden sich berührenden Stoffe hervorruft, bewirkt auch, daß dieser Gegensatz unter allen Umständen in unveränderter Stärke erhalten bleibt. — Wenn also z. B. Zink und verdünnte Schwefelsäure mit einander in Berührung sind, so wird das Zink stets um eine bestimmte Größe mehr negativ, oder, was dasselbe ist, weniger positiv elektrisch sein als die Flüssigkeit.

Wird auf eine isolirte, mit verdünnter Schwefelsäure getränkte Tuchscheibe T, Fig. 418 I, eine Zinkplatte gelegt, so wird die Tuchscheibe positiv, die Zinkplatte negativ elektrisch erregt. Bezeichnen wir die positive Ladung, welche unter diesen Umständen die Tuchscheibe annimmt, mit $+ E$, so ist die über die Zinkplatte sich verbreitende Ladung negativer Elektricität gleich $— E$.

Fig. 418.

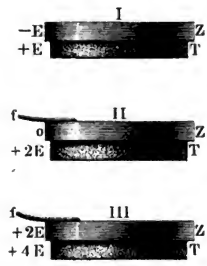


In diesem Falle ist die elektrische Differenz der beiden Platten gleich $2\,E$, d. h. die Zinkplatte ist um eine mit $2\,E$ bezeichnete Größe stärker negativ elektrisch, oder, was dasselbe ist, um $2\,E$ weniger stark positiv elektrisch geladen, als die Tuchscheibe, und diesen Gegensatz behält das Scheibenpaar bei, wie viel Elektricität man auch von außen her zuführen

Digitized by Google

mag. Alle von außen her zugeführte Elektricität wird sich frei über das ganze Scheibenpaar verbreiten.

Fig. 419.



Wird dem Scheibenpaar von außen her eine solche Menge positiver Elektricität zugeführt, daß sich die Ladung $+ E$ über das Ganze verbreitet, so wird die Ladung der Zinkplatte $- E + E = 0$, die der Zinkscheibe $+ E + E = 2E$.

Denselben Erfolg würde es haben, wenn man die Zinkplatte ableitend berührt, Fig. 219 II, und ihr dadurch ihre negative Ladung $- E$ entzieht. Die Ladung der Zinkscheibe würde alsdann gleich 0, die der Tuchscheibe gleich $+ 2E$, da dieselbe unter allen Umständen um die Größe $2E$ stärker positiv elektrisch geladen sein muß.

Wird dem Scheibenpaar, Fig. 419 I, von außen her die Ladung $+ 3E$ zugeführt, so wird die elektrische Ladung der Zinkscheibe gleich $+ 2E$, die der Tuchplatte $+ 4E$ werden (Fig. 419 III); kurz die elektrische Differenz der beiden Scheiben wird stets dieselbe bleiben.

202 **Die Volta'sche Säule.** Die elektrische Spannung, welche eine Metallplatte in Berührung mit einer Flüssigkeit annimmt, ist so gering, daß es eines guten, mit einem Goldblattelektroskop verbundenen Condensators bedarf, um dieselbe nachzuweisen. Volta hat aber gezeigt, daß sich diese elektrische Spannung dadurch steigern lasse, daß man immer in gleicher Ordnung zwei verschiedenartige Metallplatten und feuchte Scheiben auf einander legend eine Säule aufbaut.

Zum Aufbau seiner Säule wandte Volta Kupferplatten, Zinkplatten und Tuchscheiben an, welche mit gesäuertem Wasser oder mit Salzwasser getränkt waren.

Wenn eine Kupferplatte K, Fig. 420, auf welcher eine mit gesäuertem Wasser getränkte Tuchscheibe T liegt, durch einen Kupferdraht mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht wird, so wird ihr alle freie Elektricität entzogen, die elektrische Ladung der Tuchscheibe aber wird $+ e$, wenn wir mit e die elektrische Differenz zwischen dem Kupfer und der Flüssigkeit bezeichnen. Wird auf die feuchte Tuchscheibe nun eine Zinkplatte gelegt, so nimmt diese die elektrische Ladung $- 9e$ an, da ja die elektrische Differenz zwischen Zink und dem gesäuerten Wasser 10mal so groß ist als die zwischen Kupfer und der Flüssigkeit.

Fig. 420.

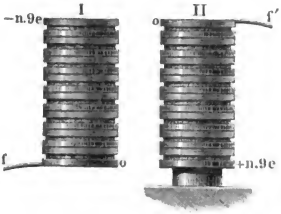
Eine derartige Combination einer Kupferplatte und einer Zinkplatte, zwischen denen eine feuchte Scheibe liegt, wird ein Volta'sches Element genannt.

Digitized by Google

Wird auf das erste Volta'sche Element in gleicher Ordnung ein zweites gelegt, wie Fig. 421 zeigt, so geht negative Elektricität von der Zinkplatte Z auf das obere Volta'sche Element über, während eine gleiche Menge positiver Elektricität durch den Draht f abgeleitet wird. Die zwischen der Flüssigkeit der Tuchscheibe T und den beiden sie berührenden Metallplatten thätige elektromotorische Kraft ersetzt aber alle abströmende Elektricität der Art, daß der elektrische Zustand des untersten Volta'schen Elementes unverändert erhalten bleibt, daß also die Zinkplatte Z die elektrische Ladung $-9e$ beibehält.

Fig. 421.

Fig. 422.



Ein elektrisches Gleichgewicht wird aber erst dann eintreten können, wenn auf das obere Volta'sche Element so viel negative Elektricität übergegangen ist, daß auch die Kupferplatte K' gleichfalls die Ladung $-9e$ angenommen hat. Alsdann aber wird die Ladung

der Tuchscheibe T' gleich $-9e+\quad e=-\ 8e$
die der Zinkscheibe Z' gleich $-8e-10e=-18e$ sein.

Die negativ elektrische Ladung der Zinkplatte Z' in der Combination Fig. 421 ist also doppelt so groß als die Ladung der Zinkplatte Z eines einfachen Volta'schen Elementes, Fig. 420.

Auf gleiche Weise kann man weiter schließen, daß wenn man 3, 4, 5 ... n Volta'sche Elemente in gleicher Ordnung auf einander baut und die unterste Kupferplatte ableitend berührt, daß alsdann die negativ elektrische Ladung der obersten Zinkplatte 3, 4, 5 ... $n$mal so groß sein wird, als für ein einzelnes Volta'sches Element.

Die Richtigkeit dieses Satzes läßt sich leicht mittelst eines mit einem guten Condensator versehenen Goldblattelektrometers auch experimentell bestätigen.

Fig. 422 stellt zwei in ganz gleicher Weise aufgebaute Säulen dar, deren jede aus n Volta'schen Elementen besteht. Bei der ersten sei die unterste Kupferplatte ableitend berührt, so ist hier die Spannung der freien Elektricität gleich 0, am oberen Ende der Säule I aber ist sie, wie wir gesehen haben, gleich $-n.9e$. Wenn nun aber die unterste Kupferplatte der Säule II isolirt ist (wenn sie also etwa auf einer Glasplatte liegt), während die oberste Zinkplatte derselben ableitend berührt ist, so ist klar, daß die Spannung der freien Elektricität am obern Ende der Säule II gleich 0, am untern Ende derselben dagegen gleich $+n.9e$ ist.

Digitized by Google

Wird nun die Säule I so auf die Säule II gesetzt, daß die ableitend be-

Fig. 423

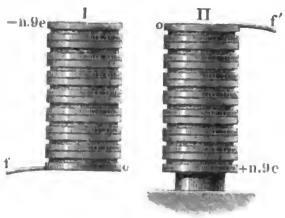
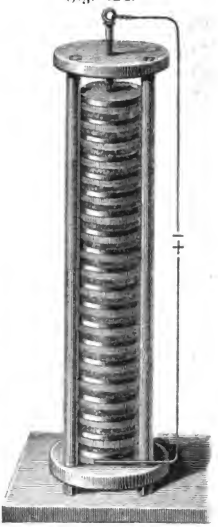


Fig. 424.



rührte Kupferplatte von I auf die ableitend berührte Zinkplatte von II zu liegen kommt, und alsdann die ableitenden Drähte entfernt, so haben wir nun eine einzige Säule von $2n$ Plattenpaaren, welche vollständig isolirt ist, und welche an ihrem Zinkende die negativ elektrische Ladung $-n.9e$, an ihrem andern Ende aber die positiv elektrische Ladung $+n.9e$ hat.

Das Zinkende dieser Säule führt den Namen des negativen, das Kupferende den des positiven Pols.

Die Volta'sche Säule wird gewöhnlich zwischen drei in einem Brett von trockenem Holze befestigten Stäben von Glas aufgebaut, wie Fig. 424 zeigt.

Um eine innigere Berührung der zusammengehörigen Kupfer- und Zinkplatten zu erzielen, werden dieselben zusammengelöthet.

Wenn beide Pole der Volta'schen Säule isolirt sind, oder wenn nur der eine isolirt und der andere ableitend berührt ist, so sagt man, die Säule sei offen. An den isolirten Polen der offenen Säule lassen sich elektrische Spannungserscheinungen beobachten, welche um so kräftiger sind, je größer die Anzahl der Plattenpaare ist.

Wenn die beiden Pole der Volta'schen Säule in leitende Verbindung gebracht werden, so ist die Säule (oder wie man auch öfters sagt: die Kette) geschlossen. Von dem positiven Pol strömt nun die positive Elektricität durch den Schließungsbogen fortwährend nach dem negativen Pole hin, während die negative Elektricität den Schließungsbogen in entgegengesetzter Richtung durchströmt; in der Säule selbst aber strömt positive Elektricität beständig dem positiven, negative Elektricität dem negativen Pole zu.

Die Wirkungen dieser elektrischen Strömungen, welche man gewöhnlich als galvanische Ströme bezeichnet, werden wir später besprechen.

Jede Vorrichtung, mit Hülfe deren man einen fortdauernden elektrischen

Digitized by Google

Strom erzeugen kann, wird ein Rheomotor (Stromerzeuger) genannt. Stromerzeugende Apparate, welche nach dem Princip der Volta'schen Säule construirt sind, werden häufig auch als galvanische Batterien oder als galvanische Ketten bezeichnet. Die elektrischen Ströme, welche sie liefern, werden, da wässerige Flüssigkeiten einen wesentlichen Bestandtheil dieser Batterien bilden, auch hydro-elektrische Ströme genannt.

Die trockene Säule. Ganz nach dem Princip der Volta'schen 203
Säule hat Zamboni eine Säule construirt, in welcher der feuchte Leiter durch eine Papierscheibe ersetzt ist, und welche deshalb die trockene Säule genannt wird.

Man kann die trockenen Säulen am leichtesten aus unächtem Gold- und Silberpapier construiren. Zu diesem Zwecke klebt man immer einen Bogen unächten Silberpapiers (Zinn) und einen Bogen unächten Goldpapiers (Kupfer) mit der Papierseite zusammen, so daß man also ein Papierblatt hat, welches auf der einen Seite mit Kupfer, auf der anderen mit Zinn überzogen ist. Aus den so zusammengeklebten Bogen werden dann die Scheibchen ausgeschnitten. Gewöhnlich sind die trockenen Säulen in wohlgefirnißte Glasröhren gefaßt, die an beiden Enden mit Metallkappen versehen sind, wie Fig. 425 zeigt. Um die vollFig. 425. ständige Berührung der Plattenpaare zu sichern, müssen die Scheibchen in der Glasröhre auf einander gepreßt werden.

Die trockene Säule bringt vorzugsweise Spannungserscheinungen, aber keine merklichen Stromwirkungen hervor, wie wir sie bei der gewöhnlichen Volta'schen Säule bald werden kennen lernen. Eine Zamboni'sche Säule von 80 bis 100 Paaren bringt bereits ohne Condensator eine Divergenz am Goldblattelektrometer hervor. Mit einer solchen Säule von mehreren Tausend Paaren kann man selbst eine recht dünnglasige Leydener Flasche laden.

Wenn man zwei Zamboni'sche Säulen neben einander aufbaut, so daß der positive Pol der einen und der negative Pol der anderen nach oben gerichtet ist, so wird ein leichtes Pendel zwischen beiden Polen beständig hin und her oscilliren müssen. Darauf gründet sich das sogenannte elektrische perpetuum mobile.

Ein zwischen zwei solchen Zamboni'schen Säulen hängendes Goldblättchen wird nach dem einen oder dem anderen Pole hin ausschlagen, wenn es nur eine ganz schwache positive oder negative Ladung erhält. Darauf gründet sich die Construction des Bohnenberger'schen Elektroskops.

Verschiedene Formen der galvanischen Kette. Die 204
oben besprochene Volta'sche Säule war der erste Apparat mit Hülfe dessen man continuirliche hydroelektrische Ströme erzeugte. Allein diese Form bietet mannigfache Mißstände. Die unteren Scheiben nämlich sind durch das Gewicht

Digitized by Google

der oberen stärker zusammengedrückt; die feuchten Scheiben werden dadurch ausgepreßt, sie werden trocken, während die Flüssigkeit an der Seite der Säule herunterrinnt; dadurch wird aber eine leitende Verbindung zwischen den einzelnen Plattenpaaren hervorgebracht, welche den Totaleffect schwächt.

Der Trogapparat, welcher längere Zeit im Gebrauche war, ist Fig. 426 und Fig. 427 dargestellt. Die einzelnen Elemente bestehen aus rechtwinkligen

Fig. 426.

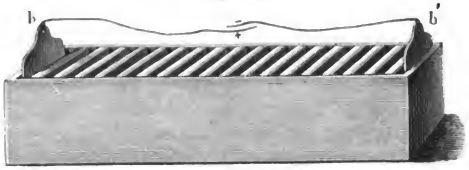
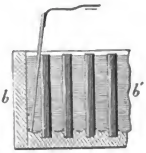


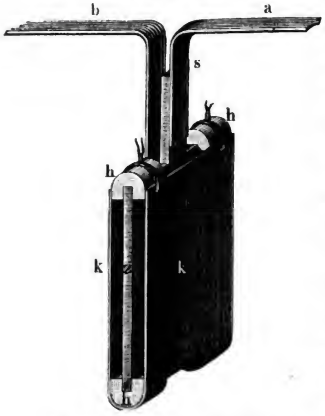
Fig. 427.



Platten von Kupfer und Zink, welche auf einander gelöthet sind. Diese Plattenpaare sind nun einander parallel in einem Kasten von Holz, bb', dessen Wände inwendig mit einer nichtleitenden Harzschicht überzogen sind, so befestigt, daß der Zwischenraum zwischen je zwei Plattenpaaren eine Zelle, einen Trog bildet, der mit gesäuertem Wasser gefüllt wird. Diese Wasserschicht, welche ungefähr 3 Linien dick ist, vertritt hier die Stelle der feuchten Scheibe.

Weit bequemer für den Gebrauch ist die Wollaston'sche Batterie. Fig. 428 stellt ein Plattenpaar derselben dar. Die Zinkplatte z ist nach oben durch einen Streifen verlängert, an den bei s ein Streifen a von Kupferblech

Fig. 428.



angelöthet ist, welcher zur Kupferplatte des folgenden Plattenpaares führt. Um die Zinkplatte herum ist eine Kupferplatte k gebogen, so daß jeder Seite von z eine Kupferfläche gegenübersteht, ohne daß eine metallische Berührung zwischen ihnen stattfände, welche am zweckmäßigsten durch Holzklötzchen h verhindert wird. — Von der Kupferplatte k führt ein Kupferstreifen b zur Zinkplatte des vorhergehenden Plattenpaares.

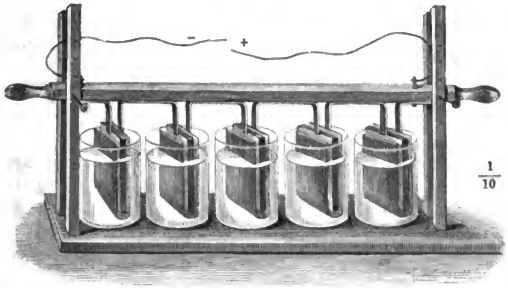
Eine Reihe solcher Plattenpaare ist nun mittelst ihrer Verbindungsstreifen an einer Holzleiste befestigt, so daß man alle auf einmal niederlassen und in die Flüssigkeit eintauchen kann. Jedes Plattenpaar hat sein besonderes Gefäß, wie man Fig. 429 sieht.

Wenn die Gefäße rund sind, wie unsere Figur zeigt, so müssen die Platten-

Digitized by Google

paare ziemlich weit auseinanderstehen. Viel Raum wird dadurch gewonnen, daß man flache Gefäße von Glas oder Porzellan anwendet oder noch besser einen

Fig. 429.



Trog von der Form wie der in Fig. 426 abgebildete, in welchem die Scheidewände der Zellen gleichfalls aus der isolirenden Substanz des ganzen Gefäßes bestehen. Jede Zelle ist zur Aufnahme eines Plattenpaares bestimmt. Am besten sind solche Tröge von Porzellan, doch reicht auch gute Töpferwaare hin, wenn sie mit einer dauerhaften Glasur versehen ist.

Faraday brachte für diese Batterie einen Trog ohne alle Scheidewand in Anwendung; dabei geht nun freilich ein Theil der galvanischen Kraft durch Nebenschließung verloren, es bleibt aber immer noch eine bedeutende Wirkung übrig, und man gewinnt auf der anderen Seite dadurch, daß man die Plattenpaare näher zusammenbringen kann, sehr an Raum.

Eine sehr compendiöse Kupferzinksäule ohne Absonderung der Flüssigkeit hat Münch construirt, doch würde uns eine genauere Beschreibung derselben zu weit führen.

Die constanten Säulen. Bei allen den bis jetzt besprochenen ein- 205
fachen und zusammengesetzten Ketten ist die Wirkung gleich nach dem Eintauchen in die saure Flüssigkeit sehr energisch; sie nimmt aber sehr rasch ab. Diese Veränderlichkeit des Stromes ist nun immer, namentlich aber dann störend, wenn es sich darum handelt, vergleichende Versuche über die Stromkraft anzustellen. Von diesem Uebelstande sind nun die sogenannten constanten Batterien fast ganz frei.

Die constanten Batterien haben das gemeinschaftlich, daß das negative Metall in eine andere Flüssigkeit eingetaucht ist als das positive. Gewöhnlich sind die einzelnen Plattenpaare in einzelne Gläser vertheilt, ähnlich wie bei der Wollaston'schen Batterie, Fig. 429; um aber Raum zu ersparen, sind sie nicht eben, sondern cylinderförmig gekrümmt. Die Flüssigkeit, in welche das negative Metall eintaucht, ist von der Flüssigkeit, in welche das positive Metall eintaucht, durch eine poröse Scheidewand getrennt, für welche man an-

Digitized by Google

fangs zum Theil thierische Blasen, später aber allgemein hohle poröse Thoncylinder anwandte, welche unter dem Namen der Thonzellen bekannt sind.

Bei allen constanten Batterien wird der negative Pol durch Zink gebildet, welches in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht ist; der positive Pol dagegen wird bei der Becquerel'schen oder Daniell'schen Säule durch Kupfer gebildet, welches in eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol, bei der Grove'schen durch Platin, welches in concentrirte Salpetersäure eingetaucht ist. Bei der Bunsen'schen Säule ist das Platin durch sehr feste Kohle ersetzt.

Fig. 430.

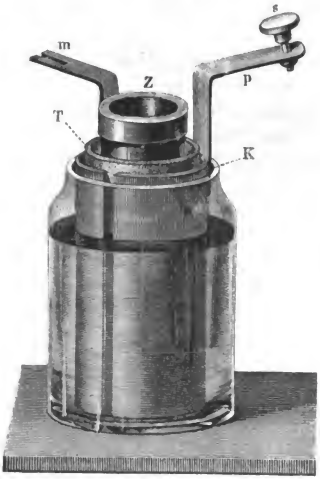


Fig. 430 stellt einen Daniell'schen Becher dar. Das mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllte Glasgefäß enthält zunächst einen aus Kupferblech gebogenen hohlen Cylinder K, innerhalb dessen die mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Thonzelle T steht. In die Flüssigkeit der Thonzelle ist dann der Zinkcylinder Z eingetaucht.

An dem Zinkcylinder ist ein geschlitzter Metallstreifen m, am Kupfercylinder ein Streifen p von Kupferblech befestigt, welcher die Schraube s trägt, vermittelst deren man den Kupferstreifen p mit dem Streifen m des nächsten Bechers zusammenschrauben kann.

Die Bunsen'schen Säulen haben gewöhnlich dieselbe Anordnung, nur

Fig. 431.

Digitized by Google

enthält das Glas concentrirte Salpeterſäure, und der hohle Kupfercylinder iſt durch einen Kohlencylinder erſetzt. Der Kohlencylinder iſt mit einem Kupferringe umgeben, an welchem ein Kupferſtreifen mit einer Schraube befeſtigt iſt, welche dazu dient, eine leitende Verbindung des Kohlencylinders mit dem Zink des folgenden Bechers herzuſtellen.

Fig. 431 zeigt, wie mehrere Bunſen'ſche Becher zu einer Säule verbunden werden können.

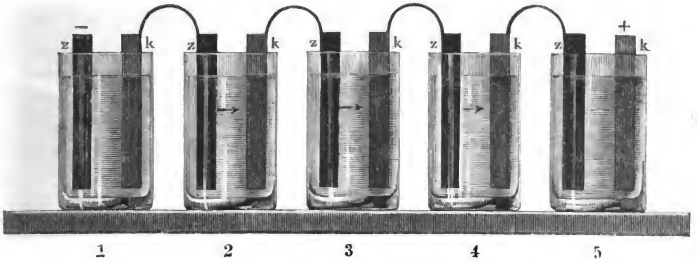
Die Kohle zu dieſen Cylindern wird auf eine eigene Weiſe aus Steinkohlen und Coaks bereitet, die wir hier nicht näher betrachten können.

Die Grove'ſche Batterie iſt in ihren Conſtructionen der Bunſen'ſchen ſehr ähnlich, nur wird Platin ſtatt der Kohle angewandt.

Den Grund, warum dieſe Anordnungen einen Strom von größerer Beſtändigkeit geben als die früheren Volta'ſchen Säulen, werden wir weiter unten kennen lernen.

Bestimmung der Pole und der Stromesrichtung einer Becherſäule. Wenn man eine galvaniſche Batterie aus einzelnen elektromotoriſchen Bechern zuſammenſetzt, wie dies Fig. 432 ſchematiſch darſtellt, ſo 206

Fig. 432.



muß immer die Kupferplatte des einen Bechers mit der Zinkplatte des folgenden in leitende Verbindung gebracht werden; auf dieſe Weiſe aber bleibt in dem erſten Becher eine vereinzelte Zinkplatte, in dem letzten eine vereinzelte Kupferplatte übrig.

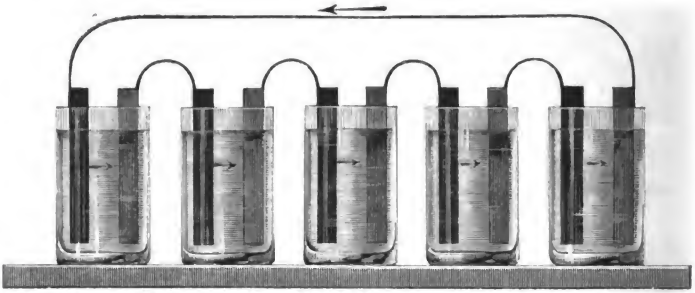
Nach §. 202 iſt nun klar, daß die vereinzelt bleibende Zinkplatte des erſten Bechers den negativen, die vereinzelt bleibende (oder die an ihre Stelle tretende Platin- oder Kohlenplatte) des letzten Bechers den poſitiven Pol der Säule bildet, wie auch in Fig. 432 angedeutet iſt.

Wird nun die Kette geſchloſſen, indem man etwa, wie es Fig. 433 (a. f. S.) andeutet, die Kupferplatte in 5 mit der Zinkplatte in 1 durch einen Metalldraht verbindet, ſo muß der poſitive Strom in der Richtung circuliren, wie es die Pfeile andeuten, er tritt alſo von der in den Becher 5 eingetauchten Kupferplatte in den Schließungsbogen ein.

Digitized by Google

In jedem einzelnen Becher geht der positive Strom stets von der Zinkplatte durch die Flüssigkeit zu der gegenüberstehenden Kupfer-, Platin- oder Kohlenplatte, wie dies in unserer Figur gleichfalls durch kleine Pfeile angedeutet ist.

Fig. 433.



207 **Physiologische Wirkungen der Säule.** Berührt man mit einem etwas befeuchteten Finger der linken Hand den einen, mit einem Finger der rechten Hand den anderen Pol einer Volta'schen Säule von 20 bis 30 Plattenpaaren, so erhält man einen schwachen Schlag, welcher mit dem einer Leydener Flasche einige Aehnlichkeit hat. Die Stärke des Schlages, welche von der Größe der Plattenpaare unabhängig ist, wächst mit der Anzahl der Plattenpaare, so daß er bei einer Säule von 80 bis 100 Plattenpaaren schon ziemlich empfindlich ist.

Man empfindet einen Schlag in dem Momente, in welchem man die Kette durch die Finger schließt. So lange die Kette geschlossen bleibt, circulirt der elektrische Strom durch den Körper, ohne eine merkliche Wirkung auf das Gefühl hervorzubringen; nur bei kräftigen Säulen von vielen Plattenpaaren empfindet man während des Geschlossenseins ein brennendes singelndes Gefühl an den Stellen, wo der Strom in den Körper eingeführt wird. Einen zweiten Schlag empfindet man aber in dem Augenblicke, in welchem man die Kette wieder öffnet.

Schon durch ein einfaches Plattenpaar läßt sich eine blitzähnliche Erscheinung in den Augen hervorbringen. Man kann den Versuch auf mannigfache Weise anstellen; man bringt z. B. eine Silberplatte an den Augapfel selbst oder an das zuvor gut angefeuchtete Augenlied und berührt sie darauf mit einem Zinkstücke, welches man in der wohl angefeuchteten Hand hält oder im Munde stecken hat. Leitet man den Strom einer Säule durch die Augen, so wird die Lichterscheinung stärker.

Legt man ein Zinkstück auf die Zunge, ein Silberstück unter dieselbe,

Digitized by Google

bringt man alsdann die vorderen Enden beider Metalle in Berührung, so empfindet man einen eigenthümlichen bitteren Geschmack.

Licht- und Wärmeerzeugung durch galvanische Ströme. Die galvanischen Ströme bringen, wie die der Reibungselektricität, Wärme und Licht hervor. 208

Wenn man einen galvanischen Strom durch einen Metalldraht leitet, so wird er erwärmt; damit aber eine kräftige Wirkung erhalten werde, muß der Schließungsdraht kurz und dünn sein. Je größer die wirkende Oberfläche des galvanischen Apparates ist, desto dickere Drähte kann man damit glühend machen und schmelzen. Je länger der Draht ist, desto mehr Plattenpaare muß man zur Säule vereinigen, um die erwähnten Wirkungen hervorzubringen.

Eisen- und Stahldraht wird weißglühend, schmilzt und verbrennt unter lebhaftem Funkensprühen.

Platindraht wird lebhaft glühend und schmilzt ab, wenn er für die angewandte Kette kurz und dünn genug ist.

Das galvanische Glühen der Metalldrähte hat man mit Erfolg zum Anzünden von Minen benutzt.

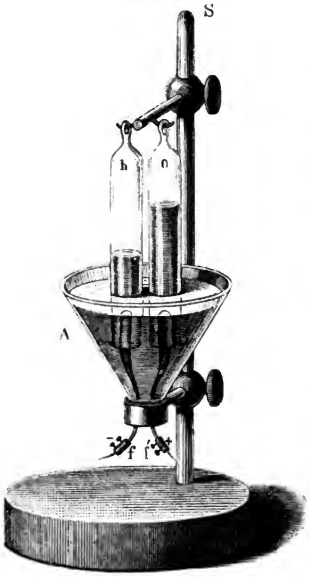
Befestigt man an die beiden Pole einer galvanischen Kette zugespitzte Kohlenstücke, am besten von derselben Masse, aus welcher die Kohlencylinder der Bunsen'schen Batterie gemacht sind, so wird man, sobald man diese Spitzen in Berührung bringt, zwischen ihnen ein ungemein glänzendes Licht wahrnehmen. Dies helle Licht läßt sich schon mit einer Bunsen'schen Säule von 6 bis 10 Bechern zeigen; da, wo sich die Kohlenspitzen berühren, erscheint ein kleiner, sehr hell leuchtender Stern. Wenn man die Zahl der Becher vermehrt, so nimmt der Glanz der Erscheinung außerordentlich zu; mit einer Kette von 30 bis 50 Bechern erhält man ein Licht, welches das Drummond'sche Kalklicht weit übertrifft. Bei Anwendung so vieler Paare kann man auch die Kohlenspitzen, wenn einmal der Strom übergeht, ziemlich weit von einander entfernen, und so erhält man durch die glühenden Kohlenpartikeln, welche von einem Pole zum anderen übergehen, das herrliche Phänomen eines Lichtbogens. Man hat dieses Licht zur Beleuchtung im Großen vorgeschlagen, bis jetzt aber noch keine praktischen Resultate erhalten; dagegen hat man mit Erfolg das Kalklicht der sogenannten Knallgasmikroskope durch das Kohlenlicht ersetzt.

Galvanische Wasserzersetzung. Die chemischen Wirkungen der Säule wurden zuerst (30. April 1800) von Carlisle und Nicholson beobachtet. Diese beiden Physiker hatten, um die Volta'schen Versuche zu wiederholen, in der Eile eine Säule von Thalerstücken, Zinkplatten und feuchten Pappscheiben aufgebaut. Nach einigen Versuchen wurde der eigenthümliche Geruch von Wasserstoffgas bemerklich, und Nicholson kam, dadurch veranlaßt, auf den glücklichen Gedanken, den Strom durch Wasser gehen zu lassen, indem er die beiden Poldrähte in dasselbe eintauchte und in einer kleinen Entfernung von einander hielt. Bald stieg das Wasserstoffgas in kleinen Bläschen am 209

Digitized by Google

negativen Pole auf, während der positive, aus Zink bestehende Poldraht sich oxydirte. Wird für den positiven Poldraht Platin oder Silber genommen, so oxydirt er sich nicht, sondern das Sauerstoffgas steigt ebenfalls in Bläschen in die Höhe. — So war denn endlich das Wasser direct in seine Elemente zerlegt. Cavendish hatte zwar schon gezeigt, daß Sauerstoff und Wasserstoff sich zu Wasser verbinden, aller Anstrengung ungeachtet war aber die directe Zersetzung des Wassers noch nicht gelungen. Ein passender Apparat zur Wasserzersetzung ist in Fig 434 dargestellt. Er besteht aus einem Glase, durch dessen isolirenden Boden zwei Kupferdrähte hindurchgehen, welche sich jedoch nicht berühren dürfen. An diese Drähte sind Platinplatten angelöthet, die Löthstelle aber und der Kupferdraht, so weit er sich im Gefäße befindet, ist sorgfältig mit Siegellacklösung überzogen. Zwei Glasglöckchen *o* und *h* sind mit gesäuertem Wasser gefüllt und hängen in ein gleichfalls mit gesäuertem Wasser gefülltes Glasgefäß herab, so daß sich über jeder der beiden Polplatten ein solches Glöckchen befindet. Sobald man nun die Drähte *f* und *f'* mit den Polen der Säule in Verbindung bringt, entwickeln sich Gasblasen in reichlichem Maße. Reines Sauerstoffgas steigt immer in dem Glöckchen über dem positiven Pole auf, das Wasserstoffgas im anderen. Es versteht sich von selbst, daß das Wasser in den Glöckchen von dem Wasser in dem Gefäße nicht abgesperrt sein darf, damit der Strom von der einen Polplatte durch die Flüssigkeit zu der anderen gelangen könne.

Fig. 434.



Die Gasentwickelung ist um so lebhafter, je größer die Polplatten sind und je näher sie einander stehen. Eine Säule von 4 bis 6 Bunsen'schen Bechern bringt schon eine sehr lebhafte Wasserzersetzung hervor.

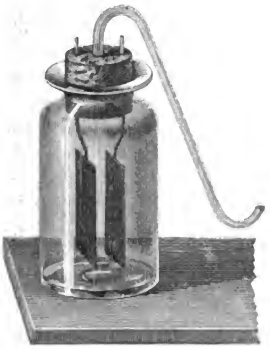
Das destillirte und vollkommen reine Wasser wird auf diese Weise fast gar nicht zersetzt; sobald man aber nur einige Tropfen irgend einer Säure zugießt, wodurch sein Leitungsvermögen bedeutend erhöht wird, beginnt eine sehr lebhafte Gasbildung, so daß man in kurzer Zeit eine ziemlich bedeutende Menge der Gase auffangen kann. Wie die Quantität der gebildeten Gase von der Stromstärke abhängt, werden wir später sehen.

Wenn es nicht darauf ankommt, die beiden Gasarten getrennt aufzufan-

Digitized by Google

gen, kann man sich des Apparates Fig. 435 bedienen, in welchem mehr Wasser zersetzt wird, weil zwei größere Polplatten von Platin sich viel näher stehen.

Fig. 435.



Das Gemenge der beiden Gase (Knallgas) entweicht durch eine gebogene Röhre, und wenn man die Oeffnung derselben unter Wasser taucht, so kann man das Gas auffangen oder die einzelnen entweichenden Blasen sogleich verpuffen.

Die Sauerstoffmenge, welche am positiven Pole frei und in der Röhre *o*, Fig. 434, gesammelt wird, ist dem Volumen nach immer nur halb so groß als die des Wasserstoffs, welcher am anderen Pole frei wird und in der Röhre *h* aufsteigt. Die Gase werden also gerade in dem Verhältnisse ausgeschieden, in welchem sie sich zu Wasser verbinden. Das Wasser besteht bekanntlich aus 1 Aequivalent Sauerstoffgas + 1 Aeq. Wasserstoff. Ein Aequivalent Wasserstoffgas aber nimmt unter sonst gleichen Umständen einen doppelt so großen Raum ein als 1 Aeq. Sauerstoff. Die durch die Säule ausgeschiedenen Gase würden also, mit einander verbunden, wieder Wasser geben. — Ein Wasserzersetzungsapparat, der mit einer graduirten Glasröhre versehen ist, in welcher man das gebildete Knallgas auffangen und messen kann, führt den Namen Voltameter, weil die Menge des in einer bestimmten Zeit durch den Strom zersetzten Wassers ein Maß für die Stärke des Volta'schen Stromes ist.

Grotthuß hat von dieser merkwürdigen Erscheinung folgende Erklärung gegeben, welche jetzt von fast allen Physikern als die richtige angenommen wird. Wenn Wasserstoffgas mit Sauerstoffgas zu Wasser verbunden ist, so werden bei dieser innigen Berührung der kleinsten Theilchen die Sauerstoffatome negativ, die Wasserstoffatome positiv elektrisch; wegen der gleichförmigen Vertheilung der Theilchen beider Substanzen aber zeigt natürlich die Verbindung keine freie Elektricität. Wenn sich nun Wasser zwischen den beiden Polen einer galvanischen Kette befindet, so wird der positive Pol auf die zunächst liegenden Wassertheilchen in der Weise wirken, daß der negative Bestandtheil angezogen und dem positiven Pole zugekehrt wird, während das abgestoßene Wasserstoffatom des ersten Wassermoleküls von dem positiven Pole abgewandt ist. Das Wassertheilchen 1, Fig. 436, wirkt aber auf das Wassertheilchen 2

Fig. 436.

in derselben Weise wie die Polplatte auf 1; ebenso wirkt 2 auf 3 u. s. w. So kommt es denn, daß alle Wassermoleküle zwischen den beiden Polen ihr Sauerstoffatom dem positiven Pole, ihr Wasserstoffatom dem negativen Pole zukehren, ungefähr so, wie

Digitized by Google

es Fig. 436 versinnlicht, wo die Kreischen Wassertheilchen darstellen, und zwar die schwarzen Hälften das Wasserstoffatom, die weißen das Sauerstoffatom. Wenn nun die Anziehung, welche der positive Pol auf das Sauerstoffatom des Wassertheilchens 1 ausübt, groß genug ist, so wird es gleichsam seinem Wasserstoffatome entrissen; dieses Wasserstoffatom verbindet sich wieder mit dem Sauerstoffe des Wassertheilchens 2; der Wasserstoff von 2 verbindet sich mit dem Sauerstoffe von 3 u. s. w. Auf diese Weise geht auf der ganzen Strecke zwischen beiden Polen eine beständige Zersetzung und Wiederbildung von Wasser vor sich, nur an den Polen selbst können die Bestandtheile desselben frei werden.

Gerade so wie zwischen den Polen findet aber auch in allen Zellen der galvanischen Kette eine Wasserzersetzung Statt.

Einen jeden Körper, welcher durch den galvanischen Strom in seine chemischen Bestandtheile zerlegt wird, nennt man nach Faraday ein Elektrolyt, während man eine durch den galvanischen Strom hervorgebrachte Zersetzung als Elektrolyse bezeichnet.

Die Polplatten, zwischen welchen die elektrolytische Zersetzung stattfindet, nennt Faraday Elektroden.

Nach der oben entwickelten Theorie der galvanischen Wasserzersetzung ist das Wasser zwischen den Polplatten der Zersetzungszelle gewissermaßen polarisirt, d. h. alle Sauerstoffatome sind gegen die positive Polplatte, alle Wasserstoffatome sind gegen die negative Elektrode hin gekehrt. Die positive Elektrode muß also auf den Sauerstoff, die negative muß auf den Wasserstoff anziehend wirken, wir müssen also die Sauerstoffatome als elektronegativ, die Wasserstoffatome als elektropositiv annehmen.

Die Wasserzersetzung geht aber nicht allein zwischen den Polplatten des Voltameters, sondern in gleicher Weise auch zwischen den Plattenpaaren der stromerzeugenden Säule vor sich; der positive Strom geht vom Zink durch die Flüssigkeit zum Kupfer (oder Platin) wie Fig. 433 Seite 378 andeutet. An der Kupfer- (Platin) platte wird Wasserstoffgas ausgeschieden, während der an der Zinkplatte auftretende Sauerstoff das Zink oxydirt.

Hier stoßen wir für den ersten Anblick auf einen Widerspruch. Der negativ elektrische Sauerstoff geht zur Zinkplatte, welche doch, wie wir in §. 200 gesehen haben, in Berührung mit gesäuertem Wasser selbst negativ elektrisch wird.

Um diesen Widerspruch zu lösen, müssen wir annehmen, daß eine Metallplatte, welche in eine elektromotorische Flüssigkeit eingetaucht ist, in ähnlicher Weise polarisirt wird, wie die Flüssigkeit selbst. Wenn also eine Zinkplatte in gesäuertes Wasser eingetaucht wird, so wird der Theil ihrer Oberfläche positiv elektrisch, welcher von der Flüssigkeit berührt ist, während der aus der Flüssigkeit hervorragende Theil der Zinkoberfläche die negativ elektrische Ladung zeigt, welche in §. 200 besprochen wurde.

Wegen dieser positiven Elektricität, mit welcher der Theil der Zinkoberfläche geladen ist, welcher mit der Flüssigkeit in unmittelbarer Berührung steht, wird das Zink das elektropositive Metall, und im Gegensatz dazu das Kupfer,

Digitized by Google

das Platin oder die Kohle das elektronegative Element der Säule genannt.

Elektrolyse der Alkalien und Erden. Eine neue Epoche der 210
Wissenschaft begann als Davy im Jahre 1807 mit Hülfe der Säule die Entdeckung machte, daß die Alkalien, welche man bis dahin für einfache Körper gehalten hatte, zerlegbar seien. Die Alkalien und Erden wurden dadurch in die Classe der Oxyde zurückgeführt und die Chemie mit zwei neuen metallischen Körpern, Kalium und Natrium, bereichert. Berührt man ein Stück Aetzkali, welches auf einer mit dem positiven Pole einer kräftigen Säule verbundenen Platinplatte liegt, mit dem negativen Poldraht, so sieht man zahlreiche Metallkügelchen an diesem Pole erscheinen und unter Funkensprühen wieder verschwinden. Es ist dies das Kalium, welches bei der Zerlegung des Kalis frei wird. Seine Verwandtschaft zum Sauerstoffe ist aber so groß, daß es sich, mit der Luft in Berührung, sogleich wieder oxydirt; wenn es aber mit Wasser in Berührung kommt, so entzieht es diesem den Sauerstoff und entzündet das Wasserstoffgas, daher denn die Feuererscheinung. Man muß deshalb das Kalium in einer nicht sauerstoffhaltigen Flüssigkeit aufbewahren. Man gebraucht zu diesem Zwecke gewöhnlich Steinöl, welches aus Kohlenstoff und Wasserstoff zusammengesetzt ist.

Seebeck hat ein Mittel angegeben, um das durch die Säule ausgeschiedene Kalium sicherer zu sammeln. In ein Stück kaustischen Kalis, welches zersetzt werden soll, wird eine Höhlung gemacht und Quecksilber in dieselbe gegossen. Das Kali wird dann auf ein mit dem positiven Pole der Säule in Verbindung stehendes Platinstück gelegt, das negative Drahtende aber in das Quecksilber getaucht. Alsbald geht die Zersetzung vor sich, Sauerstoff wird an der Platinplatte frei, das Kalium aber verbindet sich mit dem Quecksilber zu einem ziemlich beständigen Amalgam. Durch Destillation in einer Atmosphäre von Steinöldampf kann man alsdann das Quecksilber abscheiden und das Kalium in reinem Zustande erhalten.

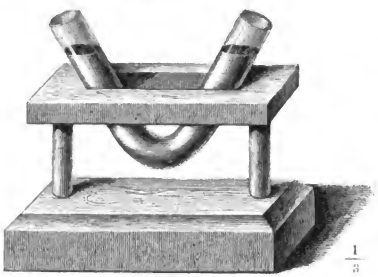
Elektrolyse der Salze. Auch die Salze werden durch den galva- 211
nischen Strom zerlegt, und zwar erscheint die Säure am positiven, die Basis am negativen Pole. Die Zerlegung der Salze läßt sich dem Auge auf folgende Weise sehr gut sichtbar machen. Man fülle eine U-förmig gebogene Röhre, Fig. 437 (a. f. S.), mit einer Salzlösung, die durch Malventinctur violet gefärbt ist. Taucht man nun auf der einen Seite den positiven, auf der anderen den negativen Poldraht in die Flüssigkeit, so wird sie sich am positiven Pole roth, am negativen grün färben. Vertauscht man aber die Pole, so stellt sich erst allmälig die ursprüngliche violette Färbung wieder her; dann aber erscheint Roth da, wo vor der Vertauschung der Farben Grün war, und umgekehrt.

Gießt man eine Salzlösung in zwei neben einander stehende Gefäße, die durch ein feuchtes Asbestgewebe oder durch einen U-förmigen, mit der Flüssigkeit gefüllten Heber verbunden sind, taucht man dann in das eine Gefäß den

Digitized by Google

positiven, in das andere den negativen Poldraht, so geht die Zersetzung ebenfalls vor sich, und nach einiger Zeit findet sich die Säure in dem Gefäße, in welches der positive Draht eingetaucht ist, die Basis im anderen. Selbst wenn man in das Gefäß *A*, welches den positiven Poldraht enthält, die basische Lösung, in das andere, *B*, aber die Säure gießt, so findet sich nach einiger Zeit die Säure in *A*, die Basis in *B*. Man hat diese Versuche auf mannigfache Weise abgeändert.

Fig. 437.



Nach Daniell's Ansicht wird hier nicht das Salz direct in Säure und Basis zerlegt, sondern nach der einen Seite wandert die metallische Grundlage der Basis, nach der anderen die Säure + Sauerstoff. Danach hätte man z. B. das schwefelsaure Natron nicht als $SO^3 + NaO$, sondern als $SO^4 + Na$ zu betrachten *). Na wandert zum negativen, die hypothetische Verbindung

*) Für diejenigen, welche noch nicht hinlänglich in der Chemie bewandert sind, bedürfen diese Formeln einer Erläuterung. Alle einfachen Stoffe (Elemente) verbinden sich unter einander stets in bestimmten Verhältnissen; die Mischungsgewichte, nach welchen diese Verbindungen vor sich gehen, nennt man chemische Aequivalente. So besteht z. B. das Wasser aus zwei Bestandtheilen, welche für sich allein gasförmig sind, nämlich Sauerstoff und Wasserstoff, und zwar enthält es 8 Gewichtstheile Sauerstoff auf 1 Gewichtstheil Wasserstoff. — 8 Gewichtstheile Sauerstoff sind also das chemische Aequivalent für 1 Gewichtstheil Wasserstoff. Ein Aequivalent Sauerstoff bezeichnet der Chemiker aber durch O, ein Aequivalent Wasserstoff mit H. Die chemische Bezeichnung für Wasser ist demnach HO.

In diesem Sinne hat man für jeden einfachen Stoff sein chemisches Aequivalent bestimmt, und zwar sind Folgendes die Aequivalente einiger der bekanntesten Körper, wenn man das Aequivalent des Wasserstoffs als Einheit annimmt.

Sauerstoff	O	8,0	Kalium	K	39,2
Wasserstoff	H	1,0	Natrium	Na	23,0
Stickstoff	N	14,0	Eisen	Fe	28,0
Schwefel	S	16,0	Zink	Zn	32,5
Chlor	Cl	35,5	Silber	Ag	108,0.

Es verbinden sich also 8 Gewichtstheile Sauerstoff (O) mit 23 Gewichtstheilen Natrium (Na) zu Natron (NaO); während dieselbe Menge Sauerstoff sich mit 32,5 Gewichtstheilen Zink (Zn) zu Zinkoxyd (ZnO) vereinigt. Die obige Formel SO^3 bezeichnet eine Verbindung von 1 Aequivalent Schwefel mit 3 Aequivalenten Sauerstoff, also 16 Gewichtstheile Schwefel mit 24 Gewichtstheilen Sauerstoff, und diese Verbindung ist unter dem Namen der Schwefelsäure bekannt. $SO^3 + NaO$ ist die Formel für das Salz, welches durch die Verbindung von 1 Aequivalent Schwefelsäure und 1 Aequivalent Natron entsteht und welches „schwefelsaures Natron" genannt wird. Schwefelsaures Natron in Verbindung mit 10 Aequivalenten Wasser bildet das bekannte Glaubersalz.

Digitized by Google

SO^4 (Oxysulphion) zum positiven Pole. Das Oxysulphion zerfällt aber, sobald es am positiven Pole frei wird, in Sauerstoff, welcher gasförmig entweicht, und Schwefelsäure, welche in der Umgebung des + Pols in der Lösung bleibt. Am negativen Pole geht unterdessen folgender Proceß vor: Das freiwerdende Natrium oxydirt sich sogleich wieder auf Kosten des Wassers und bildet Natron, welches in der Lösung bleibt, während dafür ein Aequivalent Wasserstoff als Gas entweicht.

Ist das Metall des Salzes nicht leicht oxydirbar, so schlägt es sich auf der negativen Polplatte metallisch nieder, und es wird also kein Wasserstoff frei. Dies ist z. B. der Fall bei der galvanischen Zerlegung einer Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd; am positiven Pole entweicht Sauerstoffgas, und auf der negativen Polplatte schlägt sich metallisches Kupfer nieder.

Chlor-, Jod- und Brommetalle werden ebenfalls durch den elektrischen Strom zersetzt, und zwar scheidet sich das Metall am negativen, Chlor, Jod und Brom am positiven Pole aus. Schon durch die allerschwächsten Ströme kann das Jodkalium zerlegt werden.

Wenn man wässerige Lösungen der Einwirkung des elektrischen Stromes unterwirft, so werden die Resultate der Zersetzung sehr häufig durch die Gegenwart des Wassers modificirt. Um die Mitwirkung des Wassers zu vermeiden, hat Faraday viele Körper durch Schmelzen in flüssigen Zustand versetzt und so der Einwirkung des Stromes unterworfen. So zerlegte er z. B. Chlorblei, Chlorsilber u. s. w., indem er sie auf eine Glasplatte legte, durch eine Weingeistlampe schmolz und alsdann die beiden Poldrähte in die flüssige Masse eintauchte. Wenn in das geschmolzene Chlorsilber Poldrähte von Silber eingetaucht werden, so wird am negativen Pole Silber ausgeschieden, welches sich an dem Drahte ansetzt, während der positive Silberdraht durch das freigewordene Chlor aufgelöst wird.

Sehr häufig kommt es vor, daß die durch den galvanischen Strom ausgeschiedenen Stoffe nicht frei werden, sondern weiter zersetzend auf die umgebende Flüssigkeit wirken. Derartige Zerlegungen bezeichnet man mit dem Namen der secundären Action.

Hierher gehört z. B. die oben schon betrachtete Erscheinung, daß das Natrium, welches bei der Elektrolyse einer Lösung von schwefelsaurem Natron am negativen Pole auftritt, sich sogleich wieder auf Kosten des Wassers oxydirt, während dafür ein Aequivalent Wasserstoff frei wird. Als weitere Beispiele secundärer Action führen wir folgende an:

Der Sauerstoff, welcher durch den galvanischen Strom an der positiven Polplatte ausgeschieden wird, hat im Augenblicke seiner Entstehung sehr stark oxydirende Eigenschaften, so daß er Verbindungen bildet, welche der freie Sauerstoff sonst nicht direct eingeht. So liefert z. B. die Elektrolyse der Salzsäure, besonders wenn ihr ein paar Tropfen Schwefelsäure zugesetzt sind, ein Gemenge freier Chlorsäure und Ueberchlorsäure, während gleichzeitig freies Chlorgas am + Pole und Wasserstoffgas am — Pole in Masse entweichen. Es haben sich also hier Chlor und Sauerstoff im status nascens direct mit einander vereinigt.

Digitized by Google

Taucht man die beiden aus Platin bestehenden Polplatten in eine Auflösung von Bleizucker, so bildet sich unter dem oxydirenden Einflusse des am positiven Pole entwickelten Sauerstoffes Bleihyperoxyd, welches sich auf der positiven Polplatte absetzt.

Auf ähnliche Weise und aus demselben Grunde setzt sich am positiven Pole Manganhyperoxyd ab, wenn die Flüssigkeit aufgelöstes Manganoxydul enthält.

Ein ganz dünner, auf die eben angedeutete Weise erhaltener Ueberzug von Manganhyperoxyd oder Bleihyperoxyd zeigt die lebhaftesten Farben (Nobili'sche Farbenringe), welche man bereits zur Verzierung mancher Metallwaaren (z. B. Tischglocken) angewandt hat.

212 **Praktische Benutzung der chemischen Wirkung des Stromes.** Das auf der negativen Polplatte galvanisch niedergeschlagene Kupfer läßt sich von derselben ablösen, so daß man einen mikroskopisch genauen Abdruck ihrer Oberfläche erhält; wendet man nun als negative Polplatte eine Münze, eine gestochene Kupferplatte u. s. w. an, so erhält man auf diese Weise einen kupfernen Abdruck dieser Form. — Dies Verfahren ist unter dem Namen der Galvanoplastik bekannt.

Um einen galvanoplastischen Abdruck einer metallischen Form, z. B. einer Münze, zu machen, hat man sie nur als negative Polplatte eines schwach geladenen Daniell'schen oder Bunsen'schen Bechers, der positiven Polplatte gegenüber, in eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol zu tauchen. Es ist jedoch nicht einmal nöthig, eine vom Elektromotor gesonderte Zersetzungszelle anzuwenden, indem die metallische Form selbst die Rolle des elektronegativen Metalles in der Daniell'schen Kette übernehmen kann. Fig. 438 stellt einen zu diesem Zwecke construirten Apparat dar. Ein Gefäß A, welches oben offen ist, dessen Boden aber durch eine Schweins- oder Ochsenblase gebildet wird, ist so in ein weiteres Gefäß B eingesetzt, daß der Boden von A ungefähr 2 Zoll über dem Boden des Gefäßes B sich befindet. Das Gefäß A wird mit stark verdünnter Schwefelsäure (ungefähr $^1/_{40}$ Schwefelsäure), das Gefäß B aber mit einer concentrirten Lösung von Kupfervitriol gefüllt. In die Flüssigkeit des oberen Gefäßes wird dann eine amalgamirte Zinkplatte, in die Flüssigkeit des unteren Gefäßes wird die aus einem elektronegativen Metalle bestehende Form eingesetzt.

Fig. 438.

Auf irgend eine Weise muß dafür gesorgt sein, daß die Zinkplatte in einiger Entfernung über der Blase gehalten wird, welche den Boden des Gefäßes A bildet; ferner ist es gut, über der Blase ein Stück Leinen auszubreiten, damit Unreinigkeiten und Metallstückchen, welche von der Zinkplatte herabfallen, nicht mit der Blase in Berührung kommen.

Digitized by Google

Die Zinkplatte ist mit einem Zinkstreifen versehen, welcher bei *z* durch eine Klemmschraube an einen Metallstreifen angedrückt wird, der zur elektronegativen Form führt.

Am zweckmäßigsten stellt man eine solche, als Matrize dienende Form aus Guttapercha her, indem man die weiche Guttapercha auf den zu vervielfältigenden Gegenstand mittelst einer Presse aufdrückt. Um ein Anhaften zwischen der Guttapercha und dem Originale zu verhindern, wird letzteres mit einer feinen Graphitschicht überzogen. Die Presse wird erst nach vollständigem Erkalten der Guttapercha geöffnet.

Eine solche Form ist freilich nicht leitend; sie wird es erst dadurch, daß man die Fläche derselben, auf welcher sich das Kupfer absetzen soll, mit einer zarten Schicht von Graphit überzieht, welche mittelst eines weichen Pinsels aufgerieben wird. Diese Form wird sodann auf einem Bleistreifen befestigt, indem man sie mittelst mehrerer Kupferstifte, welche die leitende Verbindung zwischen der Graphitschicht und dem Bleistreifen herstellen, aufnietet.

Dieser Bleistreifen, welcher bei *z* mit dem zur Zinkplatte führenden Zinkstreifen zusammengepreßt ist, muß, soweit er in die Lösung von Kupfervitriol eintaucht, mit einem isolirenden Ueberzuge versehen sein, den man etwa durch Anstreichen mit einer Siegellacklösung herstellen kann.

Der Strom, welcher durch den Apparat circulirt, ist nur schwach; das Kupfer setzt sich langsam auf die Graphitfläche ab. Je nachdem der Strom stärker oder schwächer ist, ist in einem oder mehreren Tagen die Kupferschicht dick genug zum Abnehmen. Bei schwächeren Strömen wird der Kupferniederschlag am gleichförmigsten; deshalb darf die Flüssigkeit, in welcher sich die Zinkplatte befindet, nur schwach sauer sein.

Je mehr Kupfer sich abgesetzt hat, desto heller wird die Vitriollösung. Wenn es nöthig ist, muß man die verbrauchte Lösung durch neue ersetzen.

Man hat in neuerer Zeit sehr wichtige Anwendungen von der Galvanoplastik gemacht; es ist gelungen, auf diese Weise Holzschnitte mit aller Schärfe des Originals zu vervielfältigen, wodurch es möglich wird, von einer und derselben Figur beliebig viele Abdrücke zu erhalten, ohne daß die späteren den früheren nachstehen. (Die Holzschnitte dieses Werkes sind mit solchen Kupfertypen gedruckt.)

Eine gestochene Kupferplatte hält bekanntlich nicht sehr viele Abdrücke aus, ohne bedeutend zu verlieren, die späteren Abdrücke sind immer schlechter als die ersten; daher der Werth der sogenannten avant la lettre. Dadurch ist der Stahlstich so sehr in Aufnahme gekommen, weil eine Stahlplatte ungleich mehr Abdrücke aushalten kann. Für die Kunst ist dies von entschiedenem Nachtheile, weil die Härte dieses Materials dem Künstler sehr große technische Schwierigkeiten entgegensetzt, welche es ihm unmöglich machen, auf Stahl ein so vollendetes Kunstwerk zu liefern wie auf Kupfer. Nun hat man aber gelernt, Kupferplatten, selbst große Kupferplatten, auf galvanoplastischem Wege zu vervielfältigen, und zwar so, daß die Abdrücke der Copien, deren man beliebig viele machen kann, denen der Originalplatte ganz gleich sind.

Digitized by Google

Endlich hat Kobell in München ein unter den Namen der Galvanographie bekanntes Verfahren angegeben, um in Tuschmanier gemalte Bilder durch Galvanoplastik zu vervielfältigen. Auf eine übersilberte Kupferplatte malt man mit einer Farbe, welche dadurch bereitet wird, daß man Oker oder Coaks mit einer Auflösung von Wachs und Terpentinöl anreibt und etwas Dammara-Firniß zusetzt. Mit dieser Farbe malt man auf die Platte so, daß die hellsten Lichter frei bleiben und die Farbe um so dicker aufgetragen wird, je dunkler der Schatten sein soll. Sobald das Bild fertig gemalt ist, wird es mit Hülfe eines zarten Pinsels mit feingepulvertem Graphit überzogen und dann in den galvanoplastischen Apparat eingesetzt. Allmälig schlägt sich das Kupfer auf die gemalte Platte nieder und bildet eine zweite Kupferplatte, auf welcher alle Lichtpartien der ersteren eben, die Schattenpartien aber vertieft sind; diese Platte liefert nun, wie eine gestochene Kupferplatte behandelt, Abdrücke, welche einer getuschten Zeichnung ähnlich sehen.

Ebenso wie sich aus einer Auflösung von Kupfervitriol auf galvanischem Wege Kupfer am negativen Pole der Kette absetzt, setzen sich auch andere Metalle, wie Gold, Silber, Platin, aus einer geeigneten Auflösung am negativen Pole ab, und man kann auf diese Weise andere Metalle mit einer dünnen Schicht von Gold oder Silber überziehen. Darauf gründet sich die galvanische Vergoldung und Versilberung u. s. w.

Ein Stück Kupfer oder Eisen wird, für sich allein in verdünnte Schwefelsäure oder in eine Kochsalzlösung getaucht, angegriffen; sobald es aber unter der Flüssigkeit mit einem mehr elektropositiven Metalle, z. B. mit Zink, in Berührung gebracht wird, bildet sich eine einfache galvanische Kette, das Kupfer oder das Eisen wird nun als das elektronegative Element nicht mehr angegriffen, dagegen wird das Zink rascher oxydirt, als es für sich allein der Fall gewesen wäre. Darauf gründet sich Davy's Versuch, durch Zinknägel den Kupferbeschlag der Schiffe zu schützen. Dasselbe Princip ist auch in Anwendung gebracht worden, um das Anfressen der eisernen Pfannen zu verhindern, in welchen Salzsoole versotten wird.

213 **Elektrochemische Theorie.** Die bisher besprochenen Erscheinungen zeigen uns merkwürdige Beziehungen zwischen den chemischen und elektrischen Kräften. Schon früher hatte man unbestimmt vermuthet, daß bei den chemischen Erscheinungen elektrische Kräfte thätig sein möchten; man ging jedoch erst näher auf diese Vorstellung ein, als die Wasserzersetzung durch die Volta'sche Säule bekannt geworden war; namentlich waren es Davy und Berzelius, welche dieselbe ausbildeten; sie stellten die elektrochemische Theorie auf, nach welcher die Grundursache der chemischen Verbindungen in einer elektrischen Anziehung zu suchen ist. Wenn es auch noch nicht vollständig bewiesen ist, daß chemische Affinität und elektrische Anziehung identisch sind, so muß doch zugegeben werden, daß diese Theorie als ein gemeinsames Band viele Thatsachen auf eine der Erfahrung entsprechende Weise verknüpft.

So wie nach der älteren Contacttheorie, wie sie Volta aufstellte, Zink

Digitized by Google

und Kupfer, in Berührung gebracht, entgegengesetzt elektrisch werden, so werden, nach der elektrochemischen Theorie, die Atome je zweier Elemente entgegengesetzt elektrisch, wenn sie mit einander in Berührung kommen. Alle Elemente lassen sich nach dieser Theorie in eine Reihe in der Art ordnen, daß jedes vorhergehende mit jedem folgenden in Berührung gebracht negativ elektrisch wird, und zwar ist die elektrische Differenz um so größer, je weiter zwei Elemente in dieser Reihe (der sogenannten Spannungsreihe) von einander abstehen. Die äußersten Glieder dieser vollständigen Spannungsreihe sind Sauerstoff und Kalium, und zwar bildet Sauerstoff das negative, Kalium das positive Ende. Folgendes ist die Spannungsreihe der bekanntesten Elemente:

—	
Sauerstoff	Silber
Schwefel	Kupfer
Stickstoff	Wismuth
Chlor	Blei
Brom	Eisen
Jod	Zink
Phosphor	Wasserstoff
Kohlenstoff	Mangan
Antimon	Aluminium
Silicium	Magnesium
Gold	Calcium
Platin	Barium
Quecksilber	Natrium
Silber	Kalium
	+

Bei den wenigsten der genannten Körper ist diese Stellung durch directe Versuche ermittelt; für die meisten hat man sie aus ihrem chemischen Verhalten zu erschließen gesucht.

Nach der elektrochemischen Theorie sind die Atome der Elemente nicht an und für sich elektrisch; sie werden es erst in Berührung mit anderen, und so kommt es denn, daß ein und derselbe Körper bald positiv, bald negativ elektrisch werden kann. So bildet z. B. Schwefel in Verbindung mit Sauerstoff das elektropositive, mit Wasserstoff das elektronegative Element.

Zunächst verbinden sich die einfachen Stoffe, immer je zwei, zu binären Verbindungen. Die zusammengesetzten Körper, wie die Sauerstoff-, Schwefel- und Chlorverbindungen, zeigen unter sich ein ähnliches Verhalten, wie die einfachen Stoffe; diejenigen binären Verbindungen der einfachen Elemente, Oxyde, Sulfüre, Chlorüre u. s. w., welche sich durch negativ elektrische Eigenschaften charakterisiren und zugleich fähig sind, Verbindungen einer höheren Ordnung einzugehen, werden Säuren genannt; diejenigen, welche in ihren weiteren Verbindungen die Rolle des elektropositiven Bestandtheiles übernehmen, nennt man Salzbasen.

Der Charakter einer Säure wird sich im Allgemeinen um so stärker aus-

Digitized by Google

drücken, je näher ihre Elemente dem negativen Ende der Spannungsreihe liegen; daher ist die Schwefelsäure die stärkste aller Säuren. Der Sauerstoff bildet Säuren mit den in der oben mitgetheilten Spannungsreihe zu oberst stehenden Elementen, Basen mit den am positiven Ende stehenden Elementen, und in der That ist Kali die stärkste aller Basen.

Wenn ein und derselbe Körper sich in mehreren Verhältnissen mit Sauerstoff verbindet, so wird die Verbindung um so mehr elektronegativ werden, sie wird um so weniger basische und um so mehr saure Eigenschaften annehmen, je mehr das elektronegative Element, der Sauerstoff, vorherrscht. So bildet 1 Aeq. Mangan, verbunden mit 1 Aeq. Sauerstoff, das Manganoxydul, welches basische Eigenschaften hat, während 1 Aeq. Mangan + 3 Aeq. Sauerstoff die Manganfäure bilden.

214 **Das elektrolytische Gesetz.** Es kann wahrscheinlich gar kein, wenigstens kein einigermaßen starker elektrischer Strom durch eine Flüssigkeit hindurchgehen, ohne daß dieser Durchgang von einer chemischen Zersetzung begleitet ist. In jeder Zelle eines jeden galvanischen Apparates findet eine solche Zersetzung Statt, so lange die Kette geschlossen bleibt und Faraday hat gezeigt, daß die Stärke des elektrischen Stromes der Zersetzung in jeder einzelnen Zelle proportional ist.

Daß zwischen der Leitung des elektrischen Stromes durch Flüssigkeiten und ihrer Zersetzung eine innige Beziehung stattfindet, ist wohl nicht zu verkennen, ja man kann geradezu behaupten, daß der Uebergang der Elektricität durch die chemische Zersetzung vermittelt wird. In jeder Zelle geht der positive Strom vom Zink aus durch die Flüssigkeit zum Kupfer, in derselben Richtung wandern auch die Wasserstoffpartikelchen fort; sie sind die Träger der positiven Elektricität, welche durch sie zu der Kupferplatte übergeführt wird. In der That haben wir gesehen, daß den Grundsätzen der elektrochemischen Theorie zufolge in jedem Wasseratome die Elemente gerade deshalb so fest zusammengehalten werden, weil Sauerstoff und Wasserstoff, in Berührung gebracht, entgegengesetzt elektrisch werden, und weil diese entgegengesetzten Elektricitäten der Wasserelemente sich gegenseitig binden. Indem ein Wasserstoffatom von seinem Sauerstoffe getrennt wird, wird auch alle seine gebundene Elektricität frei; sie wird aber sogleich wieder gebunden, wenn sich der Wasserstoff auf der anderen Seite wieder mit einem anderen Sauerstofftheilchen verbindet, und so führt jedes Wasserstoffatom seine gebundene positive Elektricität fort, und an dem negativen Pole wird mit dem Wasserstoffe zugleich auch seine positive Elektricität frei.

Während gewöhnliches, käufliches Zink, in verdünnte Schwefelsäure getaucht, rasch aufgelöst wird, bleibt chemisch reines Zink oder amalgamirtes Zink in derselben Flüssigkeit fast unangegriffen. Construirt man nun eine galvanische Säule mit amalgamirten Zinkplatten, so kann in einer solchen Säule keine, oder doch nur eine schwache Wasserzersetzung stattfinden, so lange sie nicht geschlossen ist. Wird aber die Kette geschlossen, so beginnt augenblicklich die Wasserzersetzung in jeder Zelle; es wird jedoch nur gerade so viel Wasser zersetzt und Zink aufgelöst, als zur Leitung des circulirenden Stromes nöthig ist; die

Digitized by Google

Menge des aufgelösten Zinks muß also in einem ganz bestimmten Verhältnisse zu diesem Strome stehen. Faraday wandte den Strom einer solchen Säule zur Wasserzersetzung an und bestimmte genau die in einer gegebenen Zeit entwickelte Menge von Knallgas. Es fand sich nun, daß für jeden Gewichtstheil Wasserstoffgas, welcher zwischen den Polplatten des Voltameters entwickelt wurde, in jeder Zelle 32,3 Gewichtstheile Zink aufgelöst worden waren. Nun aber verhalten sich die Gewichte der chemischen Aequivalente von Wasserstoff und Zink zu einander wie 12,48 zu 403,32 oder wie 1 zu 32,3. Für jedes Aequivalent Wasserstoff also, welches in der Zerlegungszelle entwickelt wird, muß in jeder Erregungszelle der Säule 1 Aeq. Zink aufgelöst werden.

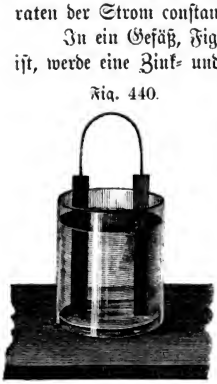
Wenn derselbe Strom durch vier Zerlegungszellen geleitet wird, von denen die erste Wasser, die zweite Chlorsilber, die dritte Chlorblei, die vierte Chlorzinn, alle aber im flüssigen Zustande, enthält, so verhalten sich die Quantitäten Wasserstoffgas, Silber, Blei und Zinn, welche an den vier negativen Polen ausgeschieden werden, wie 1 : 108 : 103,6 : 57,9, während an den positiven Polen Sauerstoffgas und Chlor, und zwar im Verhältnisse von 8 : 35,4, ausgeschieden werden. Aehnliche Thatsachen sind für viele andere zusammengesetzte Körper dargethan worden.

Es ergiebt sich aus diesen Thatsachen, daß die chemischen Aequivalente diejenigen relativen Gewichte der Stoffe bezeichnen, welche, in Berührung mit einem und demselben Elemente, eine gleich starke elektrische Polarität annehmen.

Theorie der constanten Ketten. Die gewöhnlichen Volta'schen 215
Säulen, in welchen nur eine Flüssigkeit angewandt wird, geben, wie schon bemerkt wurde, im ersten Augenblicke einen ungemein kräftigen Strom, der aber sehr rasch abnimmt, während in den Becquerel'schen (Daniell'schen), den Grove'schen und Bunsen'schen Batterien der Strom mit unveränderter Stärke fortdauert. Jetzt, wo wir die chemischen Erscheinungen in der Kette kennen gelernt haben, können wir uns davon Rechenschaft geben, warum in diesen Apparaten der Strom constant bleibt, in jenen aber so rasch abnimmt.

In ein Gefäß, Fig. 440, welches mit einer Lösung von Zinkvitriol gefüllt ist, werde eine Zink- und eine Kupferplatte eingetaucht, welche oben durch einen Kupferdraht verbunden sind. Auch hier wird anfangs ein ziemlich kräftiger Strom entstehen, der bald abnimmt und endlich ganz aufhört. Der Grund dieses Aufhörens ergiebt sich bald, wenn man den Vorgang der Zersetzung betrachtet; das Zinksalz der Lösung wird nämlich zersetzt, Sauerstoff geht an die Zinkplatte, um neues Oxyd zu bilden, während sich auf der anderen Seite metallisches Zink auf der Kupferplatte absetzt; nach einiger Zeit hat sich die Kupferplatte ganz mit Zink überzogen, und nun hört der Strom ganz auf, weil die erregende Flüssigkeit auf beiden Seiten mit dem gleichen Metall, nämlich mit Zink in Berührung ist.

Fig. 440.



Digitized by Google

Nehmen wir nun verdünnte Schwefelsäure statt der Lösung des Zinkoxyds, so wird das Wasser der sich zwischen der Zink- und Kupferplatte befindenden Flüssigkeit zersetzt; statt daß sich im vorigen Falle Zink an der Kupferplatte absetzte, wird nun hier Wasserstoffgas frei, die Kupferplatte überzieht sich mit einer Schicht von Wasserstoff, welcher sich gegen die Flüssigkeit elektromotorisch ähnlich verhält, wie Zink. Das Wasserstoffgas kann aber die Berührung des Kupfers mit der Flüssigkeit nicht so vollständig aufheben, wie es beim Zinküberzug der Fall war, weshalb denn auch nur eine Schwächung des Stromes und kein vollständiges Aufhören desselben erfolgt.

Ist somit die Ursache richtig erkannt, welche die Schwächung des Stromes in gewöhnlichen Säulen veranlaßt, so ergiebt sich leicht, wie eine solche Schwächung vermieden werden kann; man hat nämlich nur dafür zu sorgen, daß die Abscheidung des Wasserstoffes an den Kupfer- oder Platinplatten verhindert wird, daß also diese Platten stets in derselben Weise mit der Flüssigkeit in Berührung bleiben.

In der Becquerel'schen Kette setzt sich nicht Wasserstoff, sondern metallisches Kupfer an die Kupferplatte an, und somit bleibt stets eine reine Kupferoberfläche mit der Flüssigkeit in Berührung. In der Grove'schen Batterie aber ist das Platin, in der Bunsen'schen die Kohle von einer Schicht von Salpetersäure umgeben; diese Salpetersäure aber verhindert die Abscheidung des Wasserstoffes am Platin oder der Kohle, denn die ausgeschiedenen Wasserstofftheilchen werden im Momente ihres Entstehens auch sogleich wieder oxydirt, indem sich salpetrige Säure bildet.

216 **Theorie der Säule.** Es ist wohl hier der passendste Ort, Einiges über die verschiedenen Theorien zu sagen, welche man zur Erklärung der elektrischen Erscheinungen der Säule aufgestellt hat, da diese Theorien den Gegenstand lebhafter Erörterungen zwischen den verschiedenen Gelehrten bilden.

Die älteste Theorie ist die von Volta aufgestellte Contacttheorie, nach welcher die Berührung verschiedenartiger Metalle die einzige Quelle der Elektricität der Säule ist. Volta hatte vorzugsweise die Spannungswirkungen der Säule studirt, und diese finden auch durch seine Theorie die befriedigendste Erklärung. Die chemischen Erscheinungen ließ er unberücksichtigt, ohne Zweifel, weil er sie entweder gar nicht, oder doch nur höchst unvollständig kannte; daher kam es auch, daß er die Rolle, welche die Flüssigkeiten in der Kette spielen, nicht gehörig würdigte.

Nachdem nun die chemischen Wirkungen der Säule bekannt und genauer untersucht worden waren, konnte die Volta'sche Contacttheorie nicht mehr genügen, sie mußte also entweder berichtigt und erweitert werden, um auch die neu entdeckten Thatsachen zu umfassen, oder man mußte sie ganz verlassen und eine ganz neue Hypothese aufstellen. Beide Wege sind verfolgt worden, und zwar beide von ausgezeichneten Physikern.

Die Gegner der Contacttheorie, unter denen wohl Faraday vor allen Anderen zu nennen ist, betrachten die chemische Wirkung, welche die Flüssigkeiten

Digitized by Google

auf die Metalle ausüben, nicht allein als die Quelle des elektrischen Stromes der Säule, sondern sie betrachten auch die elektrische Spannung, welche bei der Berührung von Metallen und Flüssigkeiten auftritt, als das Resultat einer vorhergegangenen chemischen Zersetzung.

Die oben vorgetragene Theorie der Säule, welche man eine modificirte Contacttheorie nennen kann, steht gewissermaßen zwischen den extremen Ansichten in der Mitte, indem sie, den chemischen Beziehungen zwischen Metallen und Flüssigkeiten Rechnung tragend, den Sitz der Elektricitätsentwickelung nicht an der Berührungsfläche verschiedenartiger Metalle, sondern an der Berührungsfläche der Metalle und der Flüssigkeit sucht.

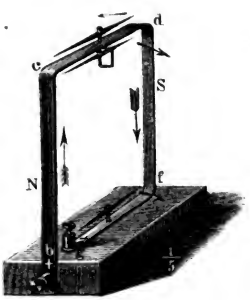
Wenn nun aber auch nach unserer Ansicht bei der Berührung eines Metalls mit einer (chemisch zusammengesetzten) Flüssigkeit eine elektrische Spannung ohne vorhergegangene chemische Zersetzung stattfinden kann, so können doch die chemisch zusammengesetzten Flüssigkeiten die Elektricität nur vermöge ihrer Zersetzung leiten. Das Kreisen des Stromes in einer hydro-elektrischen Kette steht also mit der chemischen Zersetzung der Flüssigkeiten in derselben in wesentlichem Zusammenhang.

Magnetische Wirkungen des galvanischen Stromes. 217

Schon lange wußte man, daß unter Umständen kräftige elektrische Entladungen die Magnetnadel afficiren können; man hatte z. B. beobachtet, daß die Compaßnadeln auf Schiffen, welche vom Blitze getroffen worden waren, ihre Eigenschaft verloren, den Weg des Fahrzeuges zu bezeichnen; mehrere Physiker versuchten, solche Erscheinungen durch die Entladung von Leydner Flaschen hervorzubringen, ohne jedoch zu regelmäßigen Resultaten zu gelangen; im Jahre 1820 entdeckte dagegen Oersted in Kopenhagen die Einwirkung des galvanischen Stromes auf die Magnetnadel.

Den Fundamentalversuch über die Einwirkung eines galvanischen Stromes auf die Nadel kann man auf folgende Weise anstellen: ein Streifen Kupferblech wird so gebogen, daß er ein Quadrat bildet, dessen Seiten etwa 6 bis 8 Zoll lang sein können; an den beiden Enden desselben, bei b und bei g, Fig. 441, sind Schraubklemmen aufgesetzt, in welche die Zuleitungsdrähte für den Strom eingeschraubt werden können. In der Mitte auf dem horizontalen Stücke cd und auf fg ist eine Stahlspitze befestigt, auf welche eine Magnetnadel aufgesetzt werden kann. Ebenso befindet sich eine Stahlspitze, von einem gebogenen Kupferdraht getragen, unter der Mitte von cd, auf welche ebenfalls eine Magnetnadel aufgesetzt wird.

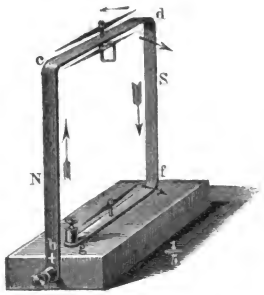
Fig. 441.



Digitized by Google

Diese Vorrichtung wird nun so aufgestellt, daß die Ebene des Quadrates in die Ebene des magnetischen Meridians fällt, daß sich also die Magnetnadeln mit cd und fg parallel stellen. Sobald nun aber ein Strom durch den Apparat hindurchgeht, werden die Magnetnadeln abgelenkt, und zwar in der durch die ungefiederten Pfeile bezeichneten Richtung, wenn der positive Strom bei b ein- und bei g austritt und wenn N die Nordseite, S die Südseite des Apparates bildet.

Fig. 442.



In den ersten Zeiten fand man große Schwierigkeiten darin, mit wenig Worten die Beziehungen zwischen der Richtung des Stromes und der Richtung der Ablenkung auszudrücken; diese Schwierigkeiten hat Ampère auf eine sinnreiche Weise gelöst; er hat folgende Regel angegeben, um jederzeit die Richtung der Ablenkung zu bestimmen. Man denke sich in den Strom eine kleine menschliche Figur so eingeschaltet, daß der positive Strom bei den Füßen ein- und am Kopfe austritt; wenn nun diese Figur ihr Gesicht der Nadel zukehrt, so wird der Nordpol der Nadel (das Nordende) immer nach der linken Seite dieser Figur hin abgelenkt.

In dem Stromstücke cd liegt die Figur wagerecht, den Kopf nach Süden, die Füße nach Norden gekehrt. Wird die Nadel über den Strom gehalten, so muß die Figur auf dem Rücken liegen, wenn ihr Gesicht der Nadel zugekehrt sein soll; bei dieser Lage der Figur ist ihre linke Seite die westliche. Wird die Nadel unter cd gehalten, so muß die Figur das Gesicht nach unten kehren und nun wird ihre linke Seite die östliche.

Für das Stromstück fg sind die Füße der Figur nach Süden, der Kopf nach Norden gekehrt; wenn die Figur auf dem Rücken liegt, ist also die linke Seite die östliche; wenn sie auf dem Leibe liegt, die westliche.

Wenn ein in der Ebene des magnetischen Meridians sich bewegender horizontaler Strom allein auf die Nadel wirkte, so würde sie sich rechtwinklig auf den magnetischen Meridian stellen; außer dem Strome wirkt aber auch noch der Erdmagnetismus, welcher die Nadel in den Meridian zurückzudrehen strebt. Unter dem Einflusse dieser beiden Kräfte wird also die Nadel eine Zwischenlage annehmen, sie wird mit dem magnetischen Meridian einen Winkel machen, der um so größer wird, sich also einem rechten um so mehr nähert, je größer die Stromkraft im Vergleiche zur magnetischen Erdkraft ist.

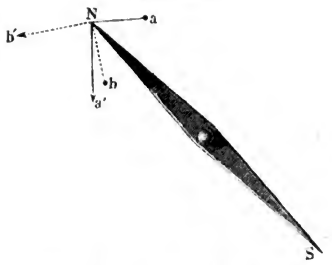
Auch der vertical gerichtete Strom in bc und df, Fig. 442, wirkt ablenkend auf die Nadel, und zwar findet man die Richtung der Ablenkung ebenfalls nach der Ampère'schen Regel. Man denke sich nur die vertical stehende Figur dem Nordende zugewandt, so muß sich dieses Nordende nach der Linken

Digitized by Google

drehen. Dabei ist aber nicht zu vergessen, daß für einen aufsteigenden Strom die Figur auf den Füßen, für einen niedergehenden auf dem Kopfe steht.

Aus dieser Ampère'schen Regel folgt, daß ein und derselbe verticale Strom das Nordende einer Nadel bald anzieht, bald abstößt, je nachdem dieser Pol sich auf der einen oder anderen Seite des Drahtes befindet. In Fig 443 stelle NS eine horizontale Nadel, von oben gesehen, dar, N sei das Nordende der Nadel, a sei ein verticaler Draht, der natürlich, von oben gesehen, als Punkt verkürzt erscheint. Geht nun ein positiver Strom von unten nach oben durch den Draht, so hat man sich die Figur aufrecht zu denken; wenn aber diese aufrechte Figur nach N hinschaut und der Pol N in Beziehung auf diese Figur nach der Linken gedreht wird, also so wie es der Pfeil a' andeutet, so wird die Nadel offenbar von dem Drahte abgestoßen. Befände sich aber der Draht in b, so würde die Nadel offenbar einen Impuls in der Richtung des Pfeils b' erhalten, also dem Drahte genähert werden.

Fig. 443.



Stellt man die Wirkungen zusammen, welche die Stromstücke bc, cd df und fg (Fig. 442) auf eine Nadel ausüben, welche sich innerhalb des Raumes $bcdfg$ befindet, so ergiebt sich, daß alle die Nadel in gleichem Sinne abzulenken streben, und zwar läßt sich in diesem Falle das Gesetz der Ablenkung in folgender Weise ausdrücken: *das Südende der Nadel wird nach der Seite hin abgelenkt, von welcher aus betrachtet der Strom die Nadel in gleicher Richtung umkreist, in welcher sich der Zeiger einer Uhr bewegt.*

Dieses Gesetz gilt natürlich auch für den Fall, daß der Strom in einem Kreise um die Nadel herumgeführt wird.

Bringt man die Nadel über das Stromstück cd, so wird das Nordende derselben nach derselben Seite hin abgelenkt, wie das Südende einer innerhalb $bcdfg$ befindlichen Nadel. Davon hat man bei der Construction des Multiplicators Anwendung gemacht, den wir sogleich näher betrachten wollen.

Der Multiplicator. Kurz nachdem Oersted die wichtige Entdeckung 218
gemacht hatte, daß der elektrische Strom, an einer Magnetnadel vorbei oder um dieselbe herumgeführt, eine Ablenkung aus dem magnetischen Meridian bewirke, construirten gleichzeitig Poggendorff und Schweigger ein Instrument, welches, unter dem Namen Multiplicator oder Galvanometer bekannt, den Zweck hat, schwache galvanische Ströme dadurch merklich zu machen, daß sie durch eine große Anzahl von Drahtwindungen vielmal um die Nadel herumgeführt werden, wie dies in Fig. 444 (a. f. S.) schematisch angedeutet ist.

Digitized by Google

Damit die Nadel *ab* möglichst frei beweglich sei, ist sie nicht auf eine Spitze gesetzt, sondern an einem Coconfaden aufgehängt.

Nobili hat den Multiplicator dadurch bedeutend empfindlicher gemacht, daß er statt einer einzigen Magnetnadel ein sogenanntes astatisches Nadelpaar in Anwendung brachte, wie dies Fig. 445 schematisch dargestellt ist.

Fig. 444.

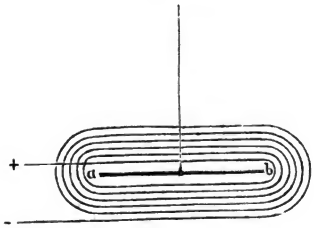
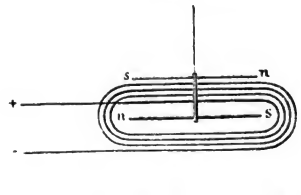


Fig. 445.



Es sind hier zwei Magnetnadeln so mit einander verbunden, daß sie einander parallel sind, daß aber der Nordpol der einen nach derselben Seite gerichtet ist, nach welcher der Südpol der anderen schaut. Bei einem solchen Systeme von zwei Nadeln ist die richtende Kraft des Erdmagnetismus außerordentlich gering, denn sie ist nur die Differenz der Kräfte, mit welchen der Erdmagnetismus jede einzelne Nadel zu richten strebt. Wäre das magnetische Moment beider Nadeln vollkommen gleich, so würde die richtende Kraft, welche die Erde auf dieses System ausübt, gleich Null sein

Während nun ein solches astatisches Nadelpaar nur mit sehr geringer Kraft durch den Erdmagnetismus gerichtet wird, summirt sich die Wirkung des Stromes auf beide Nadeln; denn indem die eine Nadel innerhalb der Windungen, die andere über denselben hängt, werden beide Nadeln nach gleicher Richtung durch den Strom abgelenkt.

Fig. 446 stellt die Gesammteinrichtung eines Multiplicators dar. Der überspannene Draht ist auf einen Holzrahmen aufgewickelt; die Drahtenden sind mit zwei auf der Vorderseite der Figur sichtbaren Messingsäulchen verbunden, in welche man die Zuleitungsdrähte einschrauben kann. Unter der oberen Nadel befindet sich ein Theilkreis. Das Nadelpaar hängt an einem einfachen Seidenfaden und kann nach Belieben etwas gehoben oder gesenkt werden. Die Glasglocke, welche das Ganze bedeckt, dient zur Abhaltung der Luftströmungen.

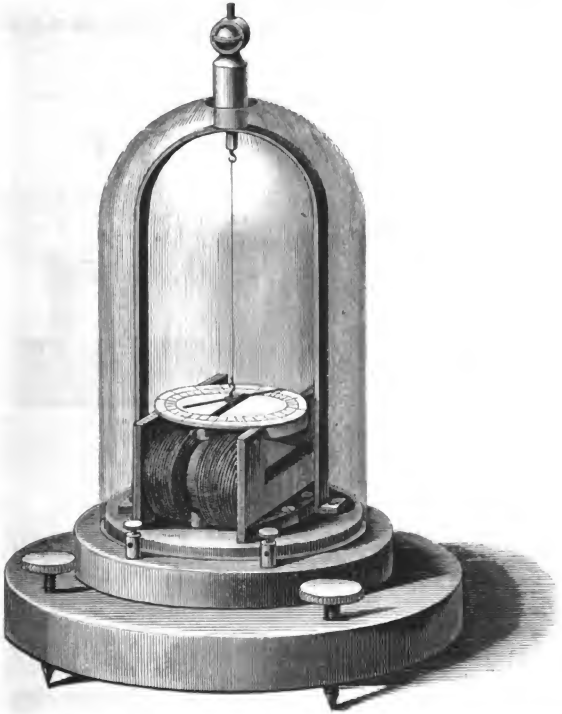
Je nach den Umständen wendet man Multiplicatoren an, die aus wenig Windungen eines dickeren oder aus sehr vielen Windungen eines dünneren Drahtes bestehen.

Das Galvanometer liefert uns ein Mittel, die Theorie der constanten Ketten, wie sie oben auseinandergesetzt wurde, durch directe Versuche zu bestätigen. — Nach Paragraph 215 beruht die rasche Abnahme der Stromstärke der gewöhnlichen Volta'schen Ketten darauf, daß sich die negative Platte mit einer Schicht von Wasserstoffgas überzieht, welches der ursprünglichen elektro-

Digitized by Google

motoriſchen Kraft der Kette entgegenwirkt. Aehnliches findet an den Platten eines Voltameters, Fig. 435, Statt; die negative Polplatte überzieht ſich mit Waſſerſtoff,

Fig. 446.



die poſitive überzieht ſich mit Sauerſtoff; dadurch aber wird die Zerlegungszelle ſelbſt elektromotoriſch, und zwar dem urſprünglichen Strom entgegengeſetzt. (Daher kommt es, daß man mit einem einzigen conſtanten Plattenpaar nur eine höchſt unbedeutende Waſſerzerſetzung erzeugen kann). — Dieſe in den Voltametern auftretende elektromotoriſche Gegenkraft wird mit dem Namen der galvaniſchen Polariſation bezeichnet; ihre Exiſtenz wird durch folgenden Verſuch beſtätigt. Man bringe in den Schließungsbogen, Fig 447, (a. f. S.) eines einzelnen conſtanten Bechers *b* einen Waſſerzerſetzungsapparat (Voltameter) *a*; nachdem die Schließung eine Zeitlang gedauert hat, hebe man ſie auf und verbinde die beiden Platten des Voltameters *a* mit den beiden Drahtenden des Galvanometers *c*, ſo wird dieſes einen Strom zeigen, welcher der Richtung nach

Digitized by Google

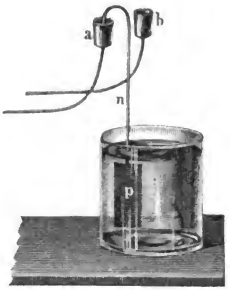
demjenigen entgegengesetzt ist, welchen die Kette b vorher durch das Voltameter a gesandt hatte.

Dieser Polarisationsstrom ist vorübergehend, er verschwindet bald mit dem Gasüberzug der Voltameterplatten.

Daß es aber wirklich der Gasüberzug ist, welcher den beiden Voltameterplatten ein entgegengesetztes elektromotorisches Vermögen ertheilt, hat Schönbein auf folgende Weise dargethan. — In Fig. 448 seien a und b zwei

Fig. 447.

Fig. 448.



Quecksilbernäpfchen, welche mit den beiden Drahtenden eines Galvanometers in leitender Verbindung stehen; von a hängt eine wohl gereinigte Platinplatte p in ein Gefäß mit etwas gesäuertem Wasser; eine ganz gleiche Platinplatte tauche man nun einige Zeitlang in ein mit Wasserstoffgas gefülltes Gefäß, so daß sich diese Platinplatte, die wir mit p' bezeichnen wollen, mit einer Atmosphäre von Wasserstoffgas überzieht; bringt man nun diese Platte p' in dieselbe Flüssigkeit, in welche p eintaucht, so wird das Galvanometer augenblicklich einen Strom anzeigen, sobald man den an p' befindlichen Drahthaken in das Quecksilbernäpfchen b eintaucht, und zwar geht der positive Strom von p' durch die Flüssigkeit zu p; die mit Wasserstoff überzogene Platinplatte verhält sich also gegen die reine wie Zink zu Kupfer.

219 **Die Tangentenbussole.** Wenn man es mit stärkeren Strömen zu thun hat, so ist es nicht nöthig, eine astatische Nadel anzuwenden und viele Drahtwindungen so nahe um die Nadel herumzuführen; dadurch aber ist es möglich, Instrumente zu construiren, bei welchen der Ablenkungswinkel in einem einfachen Verhältnisse zu der Stromstärke steht. Der einfachste und zweckmäßigste Apparat zur Messung stärkerer Ströme ist die sogenannte Tangentenbussole, welche Fig. 449 abgebildet ist. Ein kreisförmig gebogener Kupferstreifen, in dessen Mittelpunkt sich eine Magnetnadel befindet, endet unten mit zwei geraden Kupferstreifen ab und cd, welche durch ein zwischen dieselben gelegtes Stück Holz oder Elfenbein von einander isolirt sind. Jedes dieser gerade ausgestreckten Enden des kreisförmig gebogenen Streifens trägt unten eine Schraubklemme zum Einschrauben der Zuleitungsdrähte.

Digitized by Google

Der Apparat wird so festgestellt, daß der Kupferring in der Ebene des magnetischen Meridians liegt; natürlich befindet sich in diesem Falle die Nadel

Fig. 449.

in der Verticalebene des Ringes und zeigt auf den Nullpunkt ihrer Theilung; sobald aber ein galvanischer Strom durch den Kupferring geht, wird die Nadel abgelenkt, und zwar ist die Stärke des Stromes der trigonometrischen Tangente des Ablenkungswinkels proportional, daher auch der Name des Instrumentes. (Mathematischer Supplementband §. 90, S. 213.)

Kraft der galvanischen Kette. Das Agens, welches in den Phä- 220
nomenen des Galvanismus wirkt, ist durchaus nichts Anderes als die Elektricität, welche uns auch die Elektrisirmaschine und das Elektrophor liefert; nur ist hier die Elektricität in Bewegung, dort in Ruhe; hier beobachten wir Bewegungserscheinungen, dort die Phänomene des Druckes; hier haben wir eine reiche, dort eine verhältnißmäßig arme Quelle von Elektricität.

Digitized by Google

Ein Bild kann dies vielleicht anschaulich machen. Wir können die Elektrisirmaschine mit einer Quelle vergleichen, welche nur spärlich Wasser giebt, aber hoch auf einem Berge liegt. Man kann das Wasser in einer engen Röhrenleitung sammeln, welche bis in das Thal hinabgeht und unten verschlossen ist. Die Wände dieser Röhrenleitung haben natürlich einen starken Druck auszuhalten, namentlich am unteren Ende, obgleich die Wassermasse in der Röhrenleitung so groß nicht ist. Am unteren Ende der Röhrenleitung befinde sich nun eine durch ein Ventil verschlossene Oeffnung; dies Ventil sei durch eine Feder oder durch ein Gewicht auf die Oeffnung gepreßt, wodurch diese verschlossen gehalten wird. Je mehr die Wassersäule in der Röhre steigt, desto stärker wird der Druck; endlich reicht der äußere Gegendruck nicht mehr hin, Widerstand zu leisten, das Ventil wird geöffnet, und mit Gewalt strömt das Wasser hervor; dabei aber sinkt rasch das Niveau in der Röhre; der äußere Druck gewinnt wieder das Uebergewicht und schließt die Oeffnung. Allmälig füllt sich die Röhre wieder, und nach einiger Zeit ist das Wasser wieder so hoch gestiegen, daß es von Neuem das Ventil öffnet.

Bei der Elektrisirmaschine ist der Conductor das Gefäß, die Röhrenleitung, in welcher die Elektricität angehäuft wird. Nähert man dem einen Ende des Conductors einen Leiter, etwa den Knöchel eines Fingers, so wird hier die größte Anhäufung von Elektricität stattfinden; sie hat ein Bestreben, auf den Finger überzuspringen, allein die Luftschicht, welche sich zwischen dem Conductor und der Hand befindet, hindert diesen Uebergang, sie repräsentirt das Gewicht, welches das Ventil geschlossen hält. Erst wenn auf dem Conductor die Elektricität bis zu einem gewissen Grade angehäuft ist, wird der Widerstand überwunden, die Luftschicht durchbrochen, der Conductor wird theilweise entladen. Nähert man den Finger dem Conductor noch mehr, so wird der Widerstand, welcher sich dem Uebergange der Elektricität entgegensetzt, geringer, was einer Verringerung des Druckes entspricht, welcher das Ventil der Röhrenleitung geschlossen hält.

Hätte man die Oeffnung am unteren Ende der Röhrenleitung nicht durch das Ventil geschlossen, so würde das Wasser in dem Maße ausgeflossen sein, als es durch die Quelle geliefert wird, eine Anhäufung des Wassers und mit ihr jener Druck, den die Wände auszuhalten hatten, hört auf. Weil aber die Quelle nur wenig Wasser giebt, so wird es auch nur spärlich aus jener Oeffnung herausfließen; das Wasser, welches, in der Röhre angehäuft, so ungeheuren Druck ausüben könnte, wird nun, da es frei abfließen kann, kaum einen merklichen mechanischen Effect hervorbringen.

Diesem freien Abfließen des Wassers einer armen Quelle entspricht der Fall, daß man den Conductor der Maschine mit dem Boden oder dem Reibzeuge in leitende Verbindung setzt. Alle Spannung, alle Anhäufung der Elektricität auf dem Conductor hört auf; der dünnste Draht ist schon im Stande, alle Elektricität vom Conductor vollständig abzuleiten, und diese frei abströmende Elektricität kann kaum Spuren der mächtigen Wirkungen hervorbringen, welche wir an galvanischen Apparaten beobachten.

Digitized by Google

Die galvanischen Apparate gleichen einer sehr reichen Quelle, die aber nur ein geringes Gefälle hat und deren Wasser in weiten Canälen frei abfließt. Die große Masse des strömenden Wassers übt nur einen geringen Druck auf die Wände aus, aber sie ist im Stande, mechanische Effecte hervorzubringen, Räder zu treiben u. s. w.

Wenn man eine große Leydener Flasche durch einen dünnen Draht entladet, so wird dieser, wie wir gesehen haben, glühend, weil eine ziemlich große Elektricitätsmenge auf einmal durch ihn hindurchgeht. Die Wirkung ist aber nur momentan; in einem Augenblicke geht alle Elektricität, welche man durch längeres Drehen der Maschine in der Flasche angehäuft hatte, durch den dünnen Draht hindurch. Ganz anders verhält es sich, wenn man die beiden Pole eines großplattigen galvanischen Apparates durch einen kurzen Draht verbindet. Der Draht wird glühend, selbst wenn er bei Weitem dicker ist als der Draht, den man durch den Entladungsschlag der Leydener Flasche ins Glühen bringt; das Glühen ist aber hier nicht momentan, es dauert fort, so lange der Strom durch den Draht hindurchgeht; in jedem Augenblicke liefert also der galvanische Apparat ungleich mehr Elektricität, als man durch längeres Drehen der Maschine in der Flasche anhäufen konnte.

Das Ohm'sche Gesetz. Die Beziehungen der Stromstärke zu der 221
Zahl und der Größe der Plattenpaare sind durch Ohm auf streng mathematische Formen zurückgeführt worden. Durch das nach seinem Urheber genannte Ohm'sche Gesetz, dessen Grundzüge sogleich näher entwickelt werden sollen, ist erst den Untersuchungen über die Stromstärke eine sichere Basis gegeben worden.

Damit ein elektrischer Strom durch einen Leiter hindurchgehen könne, ist es durchaus nöthig, daß die Elektricität an verschiedenen Stellen des Leiters eine ungleiche Spannung habe. Berührt man z. B. den Conductor einer Elektrisirmaschine mit einem Drahte, so strömt die Elektricität nur deshalb durch denselben ab, weil die starke Spannung der Elektricität auf dem Conductor dieselbe durch den Draht hindurchtreibt, weil also an dem einen Ende des Drahtes, da nämlich, wo er den Conductor berührt, eine stärkere Anhäufung von Elektricität stattfindet als am anderen; verbände man zwei gleiche, gleich stark mit derselben Elektricität geladene Conductoren durch einen Draht, so könnte kein Strom entstehen.

Wenn die Volta'sche Säule isolirt ist, so befinden sich die entgegengesetzten Elektricitäten an den Polen in dem Zustande der Spannung, und dieser Zustand kann unmöglich ganz verschwinden, wenn die beiden Pole durch einen Leiter verbunden werden, denn es könnte keine positive Elektricität von dem positiven Pole abströmen, wenn hier nicht eine größere Anhäufung dieser Elektricität stattfände; es ist eine gewisse Spannung der Elektricität, gleichsam ein gewisser Druck nöthig, damit eine Bewegung entstehe, damit die Leitungswiderstände in dem Leiter überwunden werden, durch welchen der Strom hindurchgehen soll.

Digitized by Google

Die Quantität der Elektricität, welche einen Leiter durchströmt, hängt also wesentlich von zwei Umständen ab, erstens von dem zu überwindenden Leitungswiderstande und zweitens von der Spannung, dem Drucke, welcher die Elektricität durch den Leiter hindurchtreibt, oder mit anderen Worten von der elektromotorischen Kraft, welche den Strom erzeugt; es ist nun leicht einzusehen, daß die Quantität der Elektricität, welche durch einen gegebenen Leiter in einer gegebenen Zeit hindurchgeht, im umgekehrten Verhältnisse des Leitungswiderstandes und im geraden Verhältnisse der elektromotorischen Kraft stehen muß, daß also

$$S = \frac{E}{L} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 1)$$

wenn S die Stromstärke, E die elektromotorische Kraft der Säule und L den gesammten Leitungswiderstand der Kette bezeichnet.

Der Widerstand L zerfällt in zwei Theile, er besteht nämlich erstens aus dem Widerstande, welcher innerhalb des Elektromotors selbst zu überwinden ist und welchen wir den wesentlichen Leitungswiderstand der Säule nennen und mit λ bezeichnen wollen, und aus dem Widerstande des zwischen die Pole der Säule eingeschalteten Schließungsbogens, welcher mit l bezeichnet werden soll. Es ist also $L = \lambda + l$, und demnach geht Gleichung 1) über in

$$S = \frac{E}{\lambda + l} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 2)$$

Zur experimentellen Bestätigung des durch die Gleichung 2) ausgesprochenen Gesetzes mag eine Versuchsreihe dienen, bei welcher als Elektromotor ein einfacher Bunsen'scher Becher diente. Als der Schließungsbogen nur aus dem kurzen dicken Zuleitungsdrahte und der Tangentenbussole bestand, war die an letzterer abgelesene Ablenkung 62°. Als nun der Reihe nach Kupferdrähte von stets gleicher Dicke eingeschaltet wurden, deren Länge 5, 10, 40 u. s. w. Meter betrug, der gesammte Leitungswiderstand also $\lambda + 5$, $\lambda + 10$, $\lambda + 40$ u. s. w. wurde (wenn mit λ der Widerstand des Elektromotors sammt dem unbedeutenden Widerstande der Tangentenbussole und dem kurzen dicken Zuleitungsdrahte bezeichnet wird), ergaben sich die zusammengehörigen Werthe der Widerstände und der Ablenkungen, wie sie in folgender Tabelle zusammengestellt sind. Die dritte Columne dieser Tabelle enthält die Tangenten der in der zweiten Columne aufgeführten Ablenkungswinkel.

Digitized by Google

Länge der Kette.	Beobachtete Ablenkung.	Tangente des Ablenkungswinkels.
λ	62°00′	1,880
$\lambda + 5$	40 20	0,849
$\lambda + 10$	28 30	0,543
$\lambda + 40$	9 45	0,172
$\lambda + 70$	6 00	0,105
$\lambda + 100$	4 15	0,074

Nehmen wir die Tangenten der Ablenkungswinkel zum Maß der Stromstärke, so wird Gleichung 2) für die Data des ersten Versuchs

$$1{,}88 = \frac{E}{\lambda},$$

für die Data des zweiten Versuchs aber wird sie

$$0{,}849 = \frac{E}{\lambda + 5}.$$

Aus der Combination dieser beiden Gleichungen ergiebt sich

$$\lambda = 4{,}11 \text{ und } E = 7{,}727,$$

der wesentliche Leitungswiderstand des elektromotorischen Bechers ist also in diesem Falle gleich dem Leitungswiderstande eines 4,11 Meter langen Kupferdrahtes von derselben Dicke, wie der, welchen man zu den Einschaltungen verwendete.

Setzen wir diese Werthe von λ und E in Gleichung 2), so wird sie

$$S = \frac{7{,}727}{4{,}11 + l} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 3)$$

Danach ergeben sich aber folgende zusammengehörige Werthe von l und S:

l	S
10	0,547
40	0,175
70	0,104
100	0,074

Diese berechneten Stromstärken sind aber in der That so nahe gleich den für die Einschaltungen 10, 40 u. s. w. beobachteten und in der dritten Columne

Digitized by Google

der obigen Tafel angeführten, daß diese Versuchsreihe eine vollkommene Bestätigung des Ohm'schen Gesetzes liefert.

Bezeichnen wir mit e die elektromotorische Kraft und mit r den wesentlichen Widerstand eines Plattenpaares, also eines elektromotorischen Bechers, so ist die elektromotorische Kraft E einer aus n solchen Plattenpaaren oder Bechern zusammengesetzten Säule gleich ne, der wesentliche Leitungswiderstand λ dieser Säule ist aber nr. Wird zwischen den Polen dieser Säule ein Widerstand l eingeschaltet, so ist also die Stromstärke

$$S = \frac{ne}{nr + l} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 4)$$

Für den Fall, daß der Widerstand l des Schließungsbogens verschwindend klein ist gegen den wesentlichen Leitungswiderstand nr der Säule, reducirt sich Gleichung 4) auf

$$S = \frac{ne}{nr} = \frac{e}{r};$$

eine Säule von n Plattenpaaren bringt also in diesem Falle keine größere Wirkung hervor als ein einzelnes Plattenpaar.

Um die Richtigkeit dieser Folgerung durch den Versuch nachzuweisen, wurde der Reihe nach eine Säule von 1, 2, 3 u. s. w. bis 6 Bechern durch die Tangentenbussole und kurze dicke Zuleitungsdrähte geschlossen, so daß der Leitungswiderstand l des Schließungsbogens, wenn auch nicht Null, doch sehr gering war. Es ergab sich

für eine Säule von	1	Becher	eine	Ablenkung	von	67^0
„ „ „ „	2	Bechern	„	„	„	66,5
„ „ „ „	3	„	„	„	„	67,5
„ „ „ „	4	„	„	„	„	69
„ „ „ „	5	„	„	„	„	68
„ „ „ „	6	„	„	„	„	64

Man sieht, daß hier in der That die Vermehrung der zur Säule verbundenen Plattenpaare die Stromstärke nicht vermehrt. Wenn sie sogar etwas abnimmt, so liegt der Grund davon eben nur darin, daß der Leitungswiderstand der einzelnen Becher nicht ganz gleich war.

Wenn dagegen der Leitungswiderstand l des Schließungsbogens einen bedeutenden Werth hat, so wächst der Zähler des Bruches 4) bei Vermehrung der Becherzahl n in rascherem Verhältniß als der Nenner, die Vermehrung der hintereinander zur Säule verbundenen Plattenpaare muß also in diesem Falle auch eine Vergrößerung der Stromstärke zur Folge haben, was auch durch folgenden Versuch bestätigt wird.

Zwischen die Pole eines einzigen Zinkkohlenbechers wurde außer der Tangentenbussole noch ein 40 Meter langer dünner Kupferdraht eingeschaltet; die bei dieser Anordnung beobachtete Ablenkung der Tangentenbussole betrug 11^0.

Als nun bei unverändertem Schließungsbogen der eine Zinkkohlenbecher durch

Digitized by Google

eine Säule von 6 solchen Zinkkohlenbechern ersetzt wurde, stieg die Ablenkung auf 39°.

Nachdem wir untersucht haben, welchen Einfluß unter verschiedenen Umständen die Vermehrung der zur Säule verbundenen Plattenpaare auf die Stromstärke hat, wollen wir nun den Einfluß der Vergrößerung der Plattenpaare betrachten.

Die Stromstärke, welche ein Plattenpaar hervorbringt, ist

$$S = \frac{e}{r + l},$$

wenn S, e, r und l die obige Bedeutung haben. Wird unter sonst gleichen Umständen das Plattenpaar $n$mal größer gemacht, so hat dies zur Folge, daß der Leitungswiderstand des Elektromotors n mal kleiner, daß er $\frac{r}{n}$ wird, weil ja der Querschnitt der zu durchströmenden Flüssigkeitsschicht n mal größer wird; für ein n mal größeres Plattenpaar haben wir also

$$S = \frac{e}{\frac{r}{n} + l},$$

eine Gleichung, welche sich auf

$$S = \frac{n\,e}{r}$$

reducirt, wenn l verschwindend klein gegen $\frac{r}{n}$ ist. Bei sehr geringem Leitungswiderstand des Schließungsbogens, für welchen, wie wir gesehen haben, die Vermehrung der zur Säule verbundenen Plattenpaare keinen Vortheil bringt, wird also die Stromstärke durch Vergrößerung der Plattenpaare vermehrt.

Dieses aus dem Ohm'schen Gesetze gezogene Resultat wird durch folgenden Versuch bestätigt.

Ein einzelner Zinkkohlenbecher, durch kurze dicke Kupferdrähte mit der Tangentenbussole verbunden, gab einen Ausschlag von 43°.

Als aber drei solcher Becher in der Weise combinirt wurden, daß einerseits alle drei Zinkplatten, andererseits aber alle drei Kohlencylinder mit einander verbunden waren, daß also die drei Becher ein einziges Plattenpaar von der dreifachen Oberfläche des einzelnen Bechers darstellten, stieg die Ablenkung auf 67°.

Leitungsfähigkeit der Metalle. Bei den so eben angeführten 222
Versuchen wurden Drahtstücke von verschiedener Länge und gleicher Dicke in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltet und dadurch das Verhältniß der Stromstärke zur Länge des Schließungsdrahtes ermittelt. Wenn man nun dagegen gleich lange, aber ungleich dicke Drähte desselben Metalles in den Schließungsbogen einschaltet und immer die entsprechenden Ablenkungen der Nadel der Tan-

Digitized by Google

gentenbussole beobachtet, so ergiebt sich aus diesen Versuchen das Verhältniß des Leitungswiderstandes der Drähte zu ihrem Durchmesser; man findet: daß der Leitungswiderstand dem Querschnitte der Drähte umgekehrt proportional ist; oder mit anderen Worten: zwei Drähte desselben Metalls werden gleichen Leitungswiderstand ausüben, wenn sich ihre Längen umgekehrt verhalten wie ihre Querschnitte.

Um die Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle mit einander zu vergleichen, ist wohl keine Methode einfacher und sicherer, als den Strom eines hinlänglich kräftigen Elementes durch die Tangentenbussole zu leiten, Drähte verschiedener Metalle von gleicher Länge und Dicke in den Schließungsbogen einzuschalten und die entsprechenden Ablenkungen zu beobachten.

Folgende sind die Werthe des Leitungswiderstandes verschiedener Metalle:

Silber	0,95
Gold	1,38
Kupfer	1,00
Zink	3,69
Eisen	5,88
Platin	6,66
Neusilber	11,30
Quecksilber	50,00

d. h. wenn wir den Leitungswiderstand eines Kupferdrahtes mit 1 bezeichnen, so ist der eines gleich langen und gleich dicken Drahtes von Eisen, Platin u. s. w. gleich 5,88; 6,66 u. s. w.

223 **Leitungswiderstand der Flüssigkeiten.** Die Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten ist bedeutend geringer als die der Metalle. So ist z. B. der Leitungswiderstand einer Säule von gesättigter Kochsalzlösung 3 Millionen mal größer als der Leitungswiderstand eines Kupferstabes von gleicher Länge und gleicher Dicke. Wenn man in diesem Sinne den Leitungswiderstand des Kupfers zur Einheit nimmt, so ist der Leitungswiderstand einer gesättigten Lösung von

Kupfervitriol	18 000 000
Zinkvitriol	17 000 000
Kochsalz	3 000 000

Es ist ferner der Leitungswiderstand der

käuflichen Salpetersäure	1 600 000
der verdünnten Schwefelsäure (1 Vol. Vitriolöl auf 12 Vol. Wasser)	1 130 000.

Wenn man den Strom einer galvanischen Säule durch eine Flüssigkeit hindurchleitet, so erleidet die Stromstärke eine doppelte Schwächung, einmal weil der bedeutende Leitungswiderstand der Flüssigkeit zu überwinden ist, dann aber noch, weil eine bedeutende Schwächung der elektromotorischen Kraft stattfindet und zwar in Folge der galvanischen Polarisation, die wir bereits in §. 218 betrachtet haben.

Digitized by Google

Vergleichung verschiedener Rheomotoren. Um den Ef- 224
fect verschiedener Volta'scher Ketten beurtheilen zu können, muß man ihre elektromotorische Kraft und den Leitungswiderstand derselben kennen; diese lassen sich aber nach dem Ohm'schen Gesetze sehr einfach bestimmen; es reichen dazu zwei Messungen der Stromstärke hin, einmal bei vollkommener Schließung, einmal nach Einschaltung eines Drahtes von bekanntem Leitungswiderstande.

Um solche Bestimmungen vergleichbar zu machen, muß man sich über eine bestimmte Einheit des Leitungswiderstandes und der Stromstärke vereinigen. — Als Einheit des Leitungswiderstandes nehmen die meisten Physiker jetzt den eines Kupferdrahtes von 1 Meter Länge und 1 Millimeter Durchmesser; als Einheit der Stromstärke einen Strom, welcher, durch ein Voltameter gehend, in einer Minute 1 Cubikcentimeter Knallgas liefert.

In der Regel mißt man die Stromstärke freilich nicht mit dem Voltameter, sondern mit der Tangentenbussole; es ist aber leicht, die Angaben jeder Tangentenbussole auf Wasserzersetzung zu reduciren; man lasse nur einen Strom gleichzeitig durch ein Voltameter und die Tangentenbussole gehen, beobachte die Ablenkung letzterer und die Menge des in einer Minute entwickelten Knallgases, so ergiebt sich aus einer solchen Beobachtung, mit welcher Zahl man die Tangente des Ablenkungswinkels multipliciren muß, um die entsprechende Knallgasmenge (in Cubikcentimetern ausgedrückt) zu erhalten.

Um den Reductionsfactor genau zu erhalten, wird man sich freilich nicht mit einer einzigen Vergleichung der Art begnügen, sondern man wird mehrere anstellen und aus ihnen das Mittel nehmen.

Diese Einheiten zu Grunde legend fand man z. B., daß ein Bunsen'sches Element, nur durch die Tangentenbussole geschlossen, die Stromstärke 50 gab; es ist also:

$$\frac{E}{R} = 50 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (1),$$

wenn wir mit E die elektromotorische Kraft, mit R den wesentlichen Leitungswiderstand des Elementes bezeichnen.

Nach Einschaltung eines 69 Meter langen Kupferdrahtes von 1 Millimeter Durchmesser sank die Stromstärke auf 10, es ist also:

$$\frac{E}{R + 69} = 10 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (2);$$

aus der Combination der beiden Gleichungen 1) und 2) ergiebt sich:

$$R = 17 \quad E = 850.$$

Als Mittel mehrerer Versuche der Art hat man für die elektromotorische Kraft verschiedener galvanischer Elemente folgende Werthe gefunden:

Bunsen'scher Becher	840
Grove'scher Becher	820
Daniell'scher Becher	470
Wollaston'sches Plattenpaar . . .	210.

Die Differenz der elektromotorischen Kraft der Wollaston'schen und der Daniell'schen Kette hat ihren Grund lediglich darin, daß die elektromotorische

Digitized by Google

Kraft der ersteren durch die galvanische Polarisation geschwächt ist, welche bei der Daniell'schen Kette dadurch, daß das Kupfer in einer Lösung von Kupfervitriol steht, aufgehoben wird.

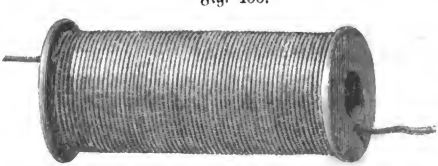
Die Größe der Plattenpaare und der Concentrationsgrad der Flüssigkeiten haben keinen Einfluß auf die Größe der elektromotorischen Kraft, wohl aber auf die Größe des Leitungswiderstandes.

225 **Magnetisirung durch den galvanischen Strom.** Nachdem wir die Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom und die darauf gegründeten Apparate zur Messung des galvanischen Stromes kennen gelernt hatten, benutzten wir dieselben, um die wichtigsten Gesetze der Stromstärke zu ermitteln. Wir kehren jetzt zur Betrachtung der magnetisirenden Wirkungen des Stromes zurück.

Der elektrische Strom wirkt nicht allein richtend auf den freien Magnetismus, sondern er wirkt auch magnetisirend auf weiches Eisen und Stahl, was sich schon dadurch zeigt, daß ein von einem kräftigen Strome durchflossener Leitungsdraht Eisenfeile anzieht. — Um einen Eisenstab zu magnetisiren, muß man den Strom mehrfach um denselben herumführen, was dadurch geschieht, daß man den mit Seide oder Wolle übersponnenen Leitungsdraht spiralförmig um das Eisen herumwindet. Statt die Drahtwindungen direct auf dem Eisen anzubringen, ist es aber zweckmäßiger, den Draht auf eine Spule von Holz (damit man die Spirale auch zu Inductionsversuchen anwenden kann) aufzuwinden und den zu magnetisirenden Eisenstab in die Höhlung derselben hineinzuschieben.

Fig. 450 stellt eine solche Magnetisirungsspirale dar. Man hat deren von sehr verschiedenen Größen und Drahtdimensionen. Für sehr kräftige Wirkungen werden Magnetisirungsspiralen angewandt, welche aus 800 bis 1000 Windungen eines $^1/_2$ bis 1 Linie dicken Kupferdrahtes bestehen, die natürlich in mehreren Lagen über einander liegen.

Fig. 450.



Schiebt man nun einen Eisenstab in eine solche Spirale hinein, so wird er magnetisch, sobald ein elektrischer Strom die Spirale durchläuft. Ragen die Enden des Eisenstabes aus der Spirale hervor, so kann man Eisenstücke an dieselben anhänger, welche aber sogleich wieder abfallen, sobald der Strom unterbrochen wird, welcher den Draht durchläuft. Das weiche Eisen bleibt also nur so lange magnetisch, als es dem magnetisirenden Einflusse ausgesetzt ist.

Was die Polarität der beiden Enden des Eisenstabes betrifft, so ist dieselbe nach den Bemerkungen auf S. 395 leicht zu bestimmen; dasjenige Ende, welches, dem Beschauer zugewandt, vom positiven Strome in der Richtung umkreist erscheint, in welcher sich der Zeiger einer Uhr dreht, ist der Südpol, d. h. derjenige

Digitized by Google

Pol, welcher sich nach Süden richten würde, wenn der Elektromagnet (so nennt man nämlich Eisenstäbe, welche durch den Einfluß des galvanischen Stromes in temporäre Magneten verwandelt sind) sich frei in der Horizontalebene drehen könnte.

Fig. 451 dient, um das Gesetz der Polarität zu erläutern.

Wie den Stahlmagneten, so giebt man auch den Elektromagneten eine U-förmige Gestalt, wenn man eine große Tragkraft erzielen will, Fig. 452.

Für manche Versuche, namentlich für die diamagnetischen, die wir weiter unten werden kennen lernen, ist es wünschenswerth, daß die beiden Pole des Elektromagnets nach oben gerichtet sind. Eine für diese Zwecke geeignete Aufstellung des Elektromagnets ist Fig. 453 ungefähr in $^1/_5$ der natürlichen Größe dargestellt.

Um die Tragkraft solcher Elektromagnete zu prüfen, setzt man auf die Pole einen Anker von der Form Fig. 454; in das Ohr desselben wird ein eiserner

Fig. 451.

Fig. 452.

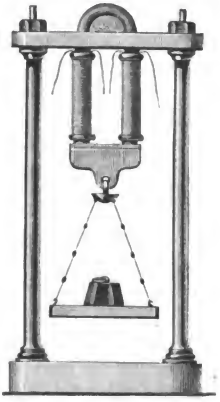


Fig. 453.

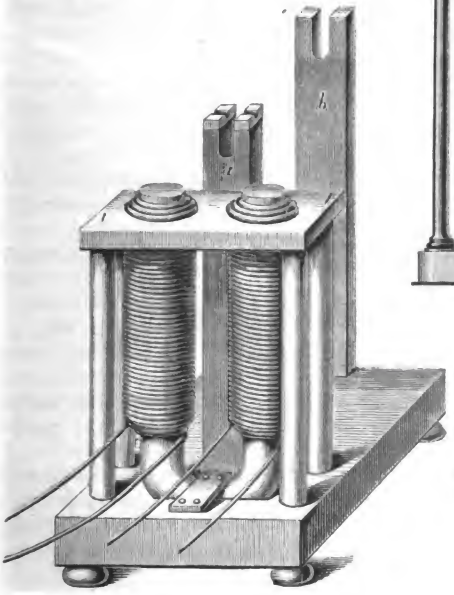


Fig. 454.

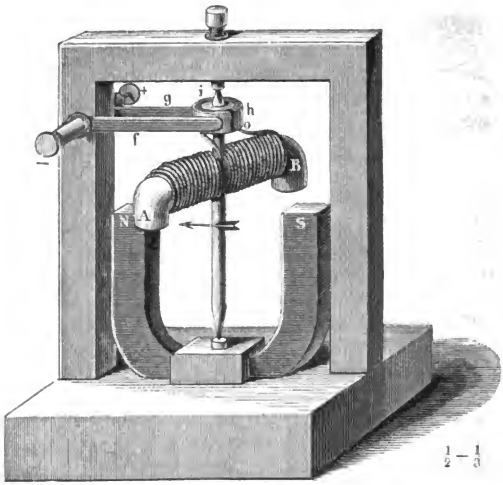
Digitized by Google

Hebel eingesetzt, dessen Stützpunkt auf der Säule *a* ruht; am anderen Ende des Hebels werden entsprechende Gewichte angehängt. Die Säule *b* dient, um den Hebel aufzuhalten, wenn er abgerissen wird.

Der Elektromagnetismus liefert ein treffliches Mittel, Stahlnadeln oder Stahlstäbe zu magnetisiren; man braucht sie nur einige Male in einer von einem starken Strome durchflossenen kurzen und dicken Magnetisirungsspirale hin und her zu schieben. Zur Magnetisirung sehr harter Stahlstäbe zeigt sich das Streichen auf den Polen eines Elektromagnets noch wirksamer.

226 **Elektromagnetische Motoren.** Die kräftigen magnetischen Wirkungen, welche der elektrische Strom hervorzubringen im Stande ist, führten auf die Idee, denselben als bewegende Kraft zu benutzen. Die Fig. 455 zeigt einen Apparat, welcher sehr geeignet ist, zu zeigen, wie man durch die magnetisirende Wirkung des galvanischen Stromes eine continuirliche Bewegung hervorbringen kann.

Fig. 455.



$\frac{1}{2} - \frac{1}{3}$

Ein U-förmiger Stahlmagnet ist auf einem Brette so befestigt, daß er vertical steht und seine Pole nach oben gerichtet sind. In der Mitte zwischen den beiden Schenkeln desselben befindet sich eine verticale stählerne Axe, welche in Spitzen läuft, und an welcher ein horizontaler Elektromagnet befestigt ist, dessen Pole bei der Rotation um die verticale Axe gerade über den Polen des Stahlmagnets hinweggehen. — Ueber dem Elektromagnet ist auf der eisernen Axe eine Scheibe von Holz befestigt, welche von einem Messingringe um-

Digitized by Google

geben ist. Dieser Ring bildet aber kein Ganzes, sondern er besteht aus zwei Hälften h und i, welche durch zwei einander diametral gegenüberliegende Zwischenräume von einander getrennt sind, also nicht in leitender Verbindung stehen, wie man in der Figur deutlich sieht.

Das eine Ende o der Drahtwindungen, welche den Eisenkern des Elektromagnets umkreisen, ist nun an dem Halbringe h, das andere Drahtende ist an dem Halbringe i angelöthet.

Auf dem Umfange der eben besprochenen Scheibe schleifen zu beiden Seiten zwei Metallfedern f und g, auf deren äußeren Enden die Klemmschrauben befestigt sind, welche zur Aufnahme der Poldrähte der Batterie dienen.

Nehmen wir an, in die vordere Klemmschraube sei der negative, in die hintere sei der positive Poldraht eingeschraubt, so wird bei der in unserer Figur dargestellten Lage der positive Strom durch die Feder g zum Halbringe h und von diesem durch o in die Windungen gelangen, während die vordere Feder auf dem Halbringe i schleift, also der positive Strom aus den Windungen über i und durch die Feder f austritt. Unter diesen Umständen wird das vordere Ende A des umströmten Eisens ein Südpol, A wird also von N und B von S angezogen, der Elektromagnet dreht sich demnach in der durch den Pfeil angegebenen Richtung.

In dem Momente, in welchem A über N und B über S passirt, gehen die isolirenden Zwischenräume zwischen h und i unter den Federn weg, die Feder f kommt auf h und g kommt auf i zu liegen, was einen Stromwechsel und eine Umkehrung der Polarität des Elektromagnets zur Folge hat. A wird nun von N und B wird von S abgestoßen, die Rotation dauert also in gleicher Richtung fort. Sobald A wieder über S und B über N ankommt, findet ein abermaliger Polwechsel Statt, durch welchen der Elektromagnet abermals in gleicher Richtung fortgetrieben wird.

Apparate, die nach diesem Principe im Großen ausgeführt wurden, lieferten keine günstigen Resultate. Sehr wesentlich wirkt dazu der Umstand mit, daß das rotirende weiche Eisen nicht so schnell die Pole vollständig umkehrt, als der Strom in dem ihn umgebenden Drahte gewechselt wird; der rotirende Elektromagnet erhält also nie die volle magnetische Kraft, wie sie dem Strome entspräche; dies ist nun um so mehr der Fall, je bedeutender die Masse des rotirenden Elektromagnets ist und je schneller die Rotation vor sich geht.

Stöhrer hat einen Apparat construirt, in welchem dieser Uebelstand vermieden wird; dessenungeachtet sind die Kosten, welche der Betrieb einer elektromagnetischen Maschine erfordert, zu groß, als daß man hoffen dürfte, den Elektromagnetismus als bewegende Kraft anwendbar zu machen.

Elektrische Telegraphen. Praktisch sind bis jetzt nur diejenigen 227
Anwendungen des galvanischen Stromes geworden, zu welchen eine geringe Stromstärke hinreicht, und dahin gehört vorzugsweise die elektrische Telegraphie.

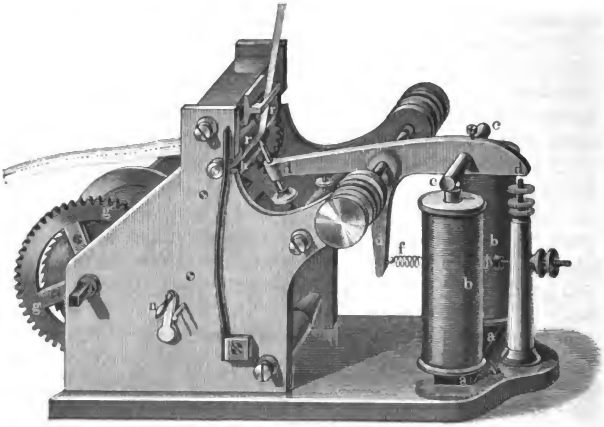
Unter den verschiedenen Apparaten, die man zu diesem Zwecke construirt

Digitized by Google

hat, ist Morse's Drucktelegraph der einfachste und wohl auch der zweckmäßigste.

Fig. 456 stellt den Morse'schen Schreibapparat in $^1/_3$ der natürlichen Größe dar. Auf einer eisernen Platte *a* sind zwei Stäbchen von Eisen be-

Fig. 456.



festigt, welche, mit den Magnetisirungsspiralen *b* umgeben, einen Elektromagneten bilden. Ueber den Polen schwebt in einiger Entfernung der Eisenstab *c*, welcher in dem Messinghebel *d* steckt. Sobald die Eisenkerne magnetisch werden, wird das rechte Ende des Hebels *d* niedergezogen; wenn die Eisenkerne ihren Magnetismus verlieren, so wird der Hebel *d* durch eine an einem Seitenarme ziehende Feder *f* in seine alte Stellung zurückgezogen.

Der Hebelarm *d* schlägt mit seinem Ende auf der rechten Seite schon auf, bevor noch der Anker *c* vollständig in Berührung mit den Polen des Elektromagnets gekommen ist, weil bei vollkommen anliegendem Anker der Elektromagnet nach Unterbrechung des Stromes seinen Magnetismus nicht ganz verliert, wodurch der Gang des Apparates sehr erschwert und unsicher werden würde.

An seinem linken Ende trägt der Hebel *d* einen Stahlstift, welcher bei jedem Niedergange des Ankers *c* gegen einen Papierstreifen gedrückt wird, den ein Uhrwerk mit gleichmäßiger Geschwindigkeit fortzieht.

Das erste Rad *g* dieses Uhrwerkes wird durch ein an der Welle desselben angehängtes Gewicht langsam umgedreht, und diese Bewegung wird durch mehrere Zwischenräder auf die Walze *h* übertragen, welche sich mit größerer Geschwindigkeit umdreht. Die Umdrehung der Walze *h* bewirkt durch Reibung

Digitized by Google

die Umdrehung der gleich großen Walze *r*. Zwischen beiden steckt ein Papierstreifen, welcher von einer, etwa an der Decke des Zimmers befestigten Rolle kommt. Ist das Uhrwerk im Gange, so wird der Papierstreifen mit gleichförmiger Geschwindigkeit, ungefähr 1 Zoll in der Secunde, fortgezogen.

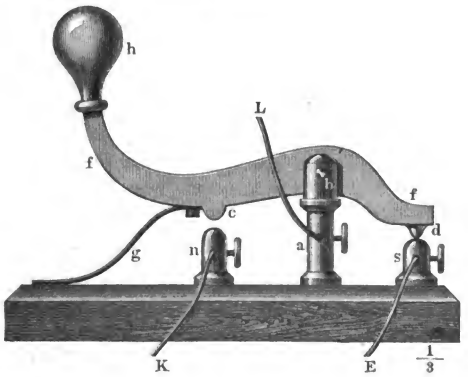
In der Mitte der Rolle *r* befindet sich eine ringförmige, theilweise in unserer Figur sichtbare Rinne. In diese Rinne wird nun der Stift hineingedrückt, wenn *c* niedergezogen wird; es preßt also der Stift eine Vertiefung in den die Rinne überdeckenden Papierstreifen. Wird der galvanische Strom nur für einen Augenblick geschlossen, so drückt der Stift einen Punkt in das Papier; bleibt aber der Strom einige Zeit geschlossen, so entsteht ein Strich, weil ja das Papier unterdessen fortgezogen wird. Aus Punkten und Strichen ist nun das Alphabet zusammengesetzt, und zwar das bei uns übliche folgendermaßen:

a · —	f · · — ·	l · — · ·	q — — · —	v · · · —
b — · · ·	g — — ·	m — —	r · — ·	w · — —
c — · — ·	h · · · ·	n — ·	s · · ·	x — · · — · ·
d — · ·	i · ·	o — — —	t —	y — · — —
e .	k — · —	p · — — ·	u · · —	z — — — · ·

Aehnliche Zeichen hat man für Zahlen, für Interpunctionszeichen u. s. w.

Zum sicheren Schließen und Oeffnen der Kette dient ein Apparat, welcher den Namen des Schlüssels führt. Der Schlüssel des Morse'schen Apparates ist Fig. 457 in $^1/_3$ der natürlichen Größe abgebildet. Auf einem Brettchen

Fig. 457.



ist ein Messingsäulchen *a* aufgesetzt, in welchem die horizontale stählerne Drehungsaxe des messingenen Hebels *f* befestigt ist. Dieser Hebel wird durch eine Stahlfeder *g* aufwärts gedrückt, so daß die Messingwarze *d* auf dem Messingsäulchen *s* steht. Drückt man den Hebel, am Handgriff *h* anfassend, nieder, so kommt die Hervorragung *c* des Hebels *f* mit dem Messingsäulchen *n* in Be-

Digitized by Google

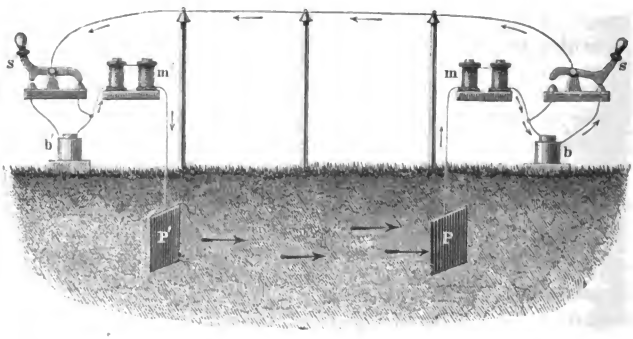
rührung, während die vordere Spitze des Hebels nun in die Höhe gehoben ist, also nicht mehr mit dem Säulchen s in leitender Verbindung steht.

Das Messingsäulchen a ist durch den Draht L mit der Drahtleitung in Verbindung gesetzt, welche zur nächsten Station führt.

Von n führt ein Draht K zu dem einen Pol, etwa dem Kupferpol der galvanischen Batterie. Von s geht ein Draht E aus, der sich alsbald spaltet, indem der eine Theil zum Zinkpol der Batterie, der andere zu den Windungen des Elektromagnets führt, von dem aus dann die Leitung weiter zu einer in den feuchten Boden vergrabenen Kupferplatte, der sogenannten Erdplatte geführt ist.

Fig. 458 stellt zwei mit einander verbundene Stationen dar. b und b' sind die Batterien, s und s' sind die Schlüssel, m und m' sind die Elektromagnete.

Fig. 458.



Sind beide Schlüssel in der Ruhelage, wie es in unserer Figur bei dem Schlüssel der Station links der Fall ist, so kann kein Strom entstehen, denn bei dem Messingkegel n (siehe Fig. 457) findet sich eine Unterbrechung der Leitung. Wird aber der Schlüssel auf einer Station niedergedrückt, wie es in unserer Figur für die Station rechts der Fall ist, so ist der Schließungsbogen für die Batterie dieser Station hergestellt, der Strom geht vom positiven Pol der Batterie b durch den Schlüssel s zum Leitungsdraht, welcher den Strom zum Schlüssel s' der anderen Station führt; von diesem gelangt der Strom zu den Windungen des Elektromagnets m', zur Erdplatte P', geht dann durch den Erdboden über P und m zum negativen Pol von b zurück, wie wenn dieser Lauf des Stromes durch die Pfeile hinlänglich bezeichnet ist.

So umkreist denn der auf der Station rechts erzeugte Strom die Elektromagnete beider Stationen; die Batterie b' der anderen Station ist nicht geschlossen, kann also keinen Strom aussenden.

Will der Telegraphist der einen Station, etwa der rechten, eine Depesche

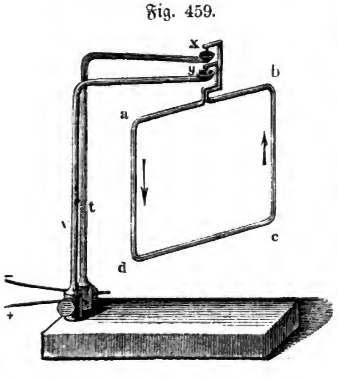
Digitized by Google

abgehen lassen, so drückt er mehrmals rasch hinter einander seinen Schlüssel nieder, wodurch ein abwechselndes An- und Abziehen der Anker beider Elektromagnete erfolgt. Das dadurch hervorgebrachte Klappern macht den Telegraphisten der anderen Station aufmerksam, welcher nun, nachdem er auf ähnliche Weise geantwortet hat, sein Uhrwerk mittelst des kleinen Hebels n, Fig. 456, auslöst und sein Gehwerk laufen läßt. Der Telegraphist der sprechenden Station drückt nun in den gehörigen Intervallen seinen Schlüssel nieder, um dadurch auf dem Papierstreifen der anderen Station die beabsichtigten Zeichen, Punkte und Striche, hervorzubringen. Zum Zeichen, daß die Depesche beendigt ist, macht er eine Reihe von 20 bis 30 gleichmäßig auf einander folgenden Punkten. Nun antwortet der Empfänger „verstanden", oder er verlangt die Wiederholung etwa undeutlich gebliebener Stellen.

Richtung der Ströme durch Magnete. Da der Strom eine 228
Wirkung auf den Magneten hervorbringt, so konnte man nicht zweifeln, daß auch umgekehrt die Magnete eine gleiche Wirkung auf den Strom ausüben, ihn also auch zu richten und auf verschiedene Weise zu bewegen im Stande sind. Ebenso muß der Erdmagnetismus richtend auf einen Stromleiter wirken und ihn ähnlich wie die Magnetnadel in eine bestimmte Stellung bringen, wenn dieser Stromleiter nur beweglich genug ist. Dies wird nun durch das Ampère'sche Gestell erreicht.

Fig. 459 stellt zwei verticale Säulen von Messing dar, welche auf einem Fuße von Holz befestigt sind; oben tragen sie horizontale Arme, die mit den Quecksilbernäpfchen x und y endigen, deren Mittelpunkte genau vertical unter einander stehen. Die beiden Säulen sind nirgends in leitender Berührung. Unten sind sie etwas dicker, so daß man die zu den Polen eines galvanischen Rheomotors führenden Leitungsdrähte einschrauben kann; dadurch wird das eine Quecksilbernäpfchen gewissermaßen zum positiven, das andere zum negativen Pole.

Fig. 459.

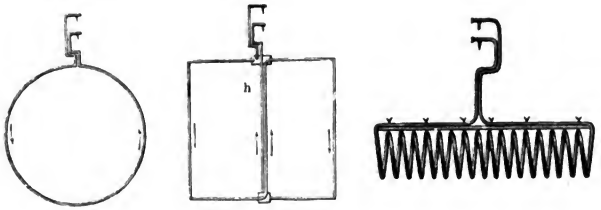


In diese Quecksilbernäpfchen wird nun ein Leitungsdraht eingehängt, welcher zum Rechteck gebogen ist, wie Fig. 459, oder kreisförmig, wie Fig. 460. Da, wo sich die beiden Drahtenden zu berühren scheinen, sind sie durch eine isolirende Substanz getrennt; sie sind oben umgebogen und mit Stahlspitzen versehen, die in die Näpfchen x und y, Fig. 459, eingetaucht werden. Die eine Spitze geht bis auf den Boden des Näpfchens und ruht hier auf einer kleinen

Digitized by Google

Glasplatte, die andere Spitze taucht nur in das Quecksilber ein. Durch diese Aufhängung ist der Draht ungemein leicht beweglich.

Fig. 460. Fig. 461. Fig. 462.



Läßt man nun einen Strom hindurchgehen, so stellt sich die Ebene des Drahtes *rechtwinklig* auf den magnetischen Meridian, und zwar so, daß der positive Strom auf der Westseite aufsteigt.

Kehrt man den Strom um, so macht der Draht um seine verticale Umdrehungsaxe eine halbe Umdrehung und kommt dann erst wieder ins Gleichgewicht.

Um den Strom rasch umkehren zu können, benutzt man Vorrichtungen, die unter dem Namen des *Stromwenders*, des *Commutators* oder des *Gyrotrops* bekannt sind. Wir können hier nicht näher auf ihre Beschreibung eingehen.

Fig. 461 stellt einen *astatischen* Stromleiter dar. Der Erdmagnetismus strebt jede Hälfte in entgegengesetzter Richtung zu drehen als die andere, er übt also keine richtende Kraft auf das System aus. Ein Schraubendraht, das sogenannte *Solenoid*, Fig. 462, an dem *Ampère*'schen Stativ aufgehängt und von einem Strome durchlaufen, muß sich so stellen, daß die Axe des Schraubendrahtes in die Richtung der Declinationsnadel fällt.

Es geht daraus nicht allein hervor, daß auf diese Weise die Declinationsnadel durch einen Schraubendraht nachgeahmt werden kann, sondern auch, daß der Südpol derjenige ist, in welchem, wenn man ihn von seiner Seite her betrachtet, der Strom sich bewegt, wie der Zeiger einer Uhr.

Das Stäbchen, welches den verschiedenen Windungen des Schraubendrahtes Fig. 462 zur Befestigung dient, besteht aus einer nichtleitenden Substanz.

Wenn man den Schraubendrähten, welche wir so eben betrachtet haben, einen Magnetstab nähert, so kann man ganz ähnliche Erscheinungen beobachten, als ob man den Magnetstab einer Declinationsnadel näherte. Ueberhaupt werden natürlicher Weise alle in diesem Paragraphen betrachteten Apparate auch durch Magnetstäbe afficirt werden.

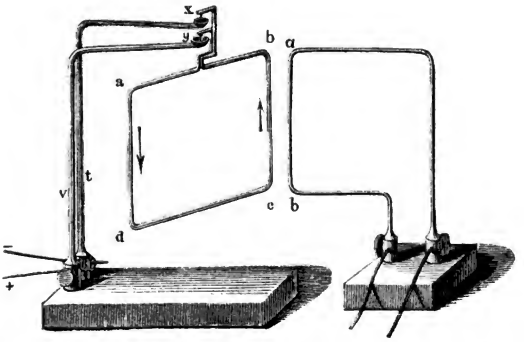
229 **Gegenseitige Wirkung galvanischer Ströme auf einander.** Zwei parallele Ströme üben immer eine Wirkung auf einander aus

Digitized by Google

welche mehr oder weniger lebhaft ist, je nach ihrer Entfernung, ihrer Intensität und ihrer Länge. Betrachtet man nun die Richtung der hervorgebrachten Bewegung, so ist diese folgendem einfachen Gesetze unterworfen: Zwei parallele Ströme ziehen sich an, wenn sie sich in gleicher Richtung bewegen, sie stoßen sich aber ab, wenn ihre Richtung entgegengesetzt ist.

Das Gesagte läßt sich mit Hülfe des Ampère'schen Gestelles in folgender Art nachweisen: Man hänge in die Quecksilbernäpfchen x und y einen rechtwinkligen Stromleiter, wie Fig. 463 zeigt, und stelle daneben das einen rechtwinklig

Fig. 463. Fig. 464.



gebogenen Leitungsdraht tragende Brettchen Fig. 464 so auf, daß das verticale Drahtstück ab sich in der Nähe eines der verticalen Stromarme des beweglichen Leiters befindet. Man beobachtet nun eine Abstoßung oder eine Anziehung zwischen den benachbarten verticalen Stromarmen, je nachdem in ihnen der Strom entgegengesetzt oder gleich gerichtet ist.

Dieser Versuch gelingt noch weit besser, wenn man statt des in Fig. 463 dargestellten beweglichen Leiters den astatischen Leiter Fig. 461 anwendet.

Wir nennen gekreuzte Ströme diejenigen, die nicht parallel sind, mögen sie nun in einer Ebene liegen, oder nicht. Im ersten Falle ist der Kreuzungspunkt derjenige, in welchem ihre Richtungen sich schneiden, im zweiten Falle ist es ein beliebiger Punkt derjenigen Geraden, welche die einander zunächst liegenden Punkte der beiden Ströme verbindet. Zwei gekreuzte Ströme streben sich immer so parallel zu stellen, daß sie sich nach derselben Richtung zu bewegen, oder mit anderen Worten: es findet Anziehung zwischen den Theilen des Stromes Statt, welche nach dem Kreuzungspunkte hingehen, und dann wieder zwischen denen, welche vom Kreuzungspunkte abgehen. Abstoßung aber findet Statt zwischen einem Stromstück, welches sich nach dem Kreuzungspunkte hinbewegt, und einem anderen, welches von ihm weggeht.

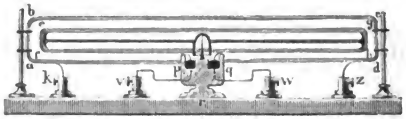
Digitized by Google

Sind z. B. ab und cd, Fig. 465, zwei Ströme, deren Kreuzungspunkt r ist, so findet eine Anziehung zwischen den Theilen ar und cr Statt, in welchen der Strom nach dem Kreuzungspunkte hingeht, und zwischen den Theilen rb und rd, in welchen er vom Kreuzungspunkte abgeht. Abstoßung findet zwischen ar und rd, ferner zwischen cr und rb Statt.

Fig. 465.

Es läßt sich dies sehr gut mit Hülfe des Garthe'schen Apparates, Fig. 466, nachweisen, welcher im Wesentlichen aus zwei Rahmen von umspon-

Fig. 466.



nenem Kupferdrahte besteht, von denen der äußere fest, der innere hingegen auf einer Spitze drehbar ist, wie eine Magnetnadel. Die Enden des beweglichen Drahtrahmens tauchen in eine kreisförmige Quecksilberrinne, welche durch eine elfenbeinerne Scheidewand (rechtwinklig zur Ebene des Papiers) in zwei halbkreisförmige Theile geschieden ist; die eine Hälfte ist mit dem positiven, die andere mit dem negativen Pole eines constanten Bechers verbunden, während der Strom eines anderen Bechers den äußeren Rahmen durchläuft.

230 **Ampère's Theorie des Magnetismus.** Das Princip dieser Theorie besteht darin, jedes Molekül eines Magnets als von einem Strome gleichsam eingehüllt zu betrachten, welcher, das Molekül beständig umkreisend, in sich selbst zurückkehrt, und den man der Einfachheit wegen als kreisförmig annehmen kann. Man stellt sich nach dieser Theorie jeden auf der Axe des Magnets rechtwinkligen Querschnitt ungefähr auf die durch Fig. 467 anschaulich gemachte Weise vor. Statt aller der elementaren Ströme eines jeden Querschnitts aber kann man sich denselben von einem einzigen Strome umkreist denken, welcher

Fig. 467.

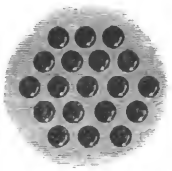
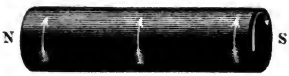


Fig. 468.



gleichsam die Resultirende aller elementaren Ströme dieses Querschnittes ist, und somit läßt sich ein Magnetstab als ein System unter sich paralleler geschlossener Ströme denken, ungefähr so, wie es Fig. 468 anschaulich macht.

Digitized by Google

Was hier von einem Magnetstabe gesagt ist, läßt sich auch auf eine Magnetnadel, kurz, auf jeden Magneten, welche Form er auch haben mag, anwenden.

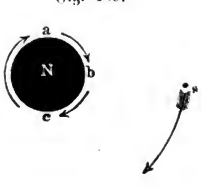
Um die Erklärung der Anziehung und Abstoßung der Pole in verschiedenen Stellungen der Magnete gegen einander recht anschaulich zu machen, zeichne man, am besten auf Cylinder von Holz oder Pappe, die ungefähr 1 bis 1,5 Fuß lang sind und 1 bis 2 Zoll im Durchmesser haben, Pfeile in der Weise, wie man Fig. 468 sieht, welche die Richtung der Ströme darstellen; ferner bezeichne man noch auf beiden Cylindern die Nordpole mit *N*, die Südpole mit *S*. Mit Hülfe zweier solcher Modelle läßt sich von den Sätzen des §. 229 ausgehend leicht begreiflich machen, warum gleichnamige Pole sich immer abstoßen, ungleichnamige sich immer anziehen, in welcher Weise man sie auch übrigens einander nähern mag.

Aus dieser Anschauungsweise ergiebt sich nun auch, warum Magnete auf einander wirken wie durchströmte Schraubendrähte, warum ein in der Mitte durchbrochener Magnet wieder zwei vollständige Magnete liefert, von welchen jeder einen Nordpol und einen Südpol hat.

Nach dieser Theorie muß man also annehmen, daß die Eisenmoleküle beständig von den erwähnten Elementarströmen umkreist werden, die auf ihrem Wege um das Eisenmolekül keinen Leitungswiderstand zu überwinden haben; denn sonst könnten sie ohne fortwirkende elektromotorische Kraft nicht continuirlich sein. In nicht magnetischem weichem Eisen oder Stahl haben sie alle möglichen verschiedenen Lagen. Die Magnetisirung des weichen Eisens besteht nach dieser Theorie darin, daß die schon vorhandenen Elementarströme parallel gerichtet werden; die Gränze der Magnetisirung ist erreicht, wenn die Ströme aller Eisenmoleküle die gleiche Lage haben. Hört die magnetisirende Kraft zu wirken auf, so kehren die Ströme wieder in ihre vorherige regellose gegenseitige Lage zurück; nur im Stahl behalten sie wenigstens theilweise ihren Parallelismus bei, und darauf beruht das Bleiben des Magnetismus des Stahls.

Rotation beweglicher Ströme und Magnete. Es sei 231
a b c d, Fig. 469, der horizontale Durchschnitt eines vertical stehenden Magnets und *s* ein zum Punkte verkürzt erscheinender verticaler, von der Ebene des Magnetdurchschnittes *N* aufsteigender Strom, welcher um die Axe des Magnets drehbar ist, so ist nach den in §. 229 auseinandergesetzten Principien klar, daß das Stück *a b* des Magnetstromes den Strom *s* abstoßen, *b c* aber ihn anziehen wird; der Strom *s* muß also in der Richtung des Stromes im Magneten

Fig. 469.



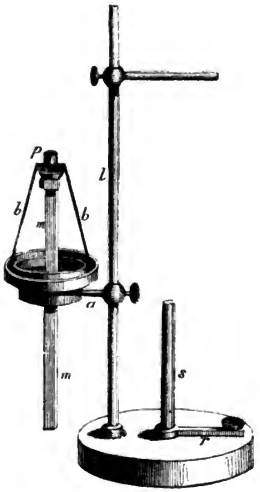
rotiren. Wäre der Strom *s* niedergehend, so würde die Richtung der Rotation die entgegengesetzte werden; ebenso wird natürlich die Umkehrung der Rotationsrichtung durch eine Umkehrung der magnetischen Pole bewirkt.

Eine solche Rotation kann mit Hülfe des Apparates Fig. 470 (a. f. S.), hervorgebracht

Digitized by Google

werden. An einem verticalen Stabe *l* ist ein horizontaler Stab *a* verschiebbar, so daß man ihn in jeder beliebigen Höhe und in jeder Richtung mit Hülfe einer Schraube feststellen kann. Dieser horizontale Stab trägt einen Messingring, auf welchen eine kreisförmige hölzerne, mit Quecksilber zu füllende Rinne aufgesetzt wird. In dem Messingringe steckt eine Korkscheibe, durch deren Mitte ein verticaler Magnetstab *m* hindurchgeht, an welchem oben eine Hülse mit einem Quecksilbernäpfchen angeschraubt ist. In diesem Näpfchen sitzt eine feine Spitze auf, welche einen kupfernen Bügel *b* trägt, der auf beiden Seiten heruntergebogen ist, so daß seine unteren, mit einer Platinspitze versehenen Enden in die Quecksilberrinne eintauchen. In der Mitte dieses Kupferbügels befindet sich ein Quecksilbernäpfchen *p*. Wird nun der eine Poldraht der Kette in dieses Quecksilbernäpfchen *p*, der andere aber in die Quecksilberrinne getaucht, so durchläuft der Strom die beiden Arme des Kupferbügels, welcher alsdann zu rotiren beginnt.

Fig. 470.



Die Wirkung des Magnets auf den Strom in dem einen Arme des Kupferbügels wird durch die Wirkung unterstützt, welche der Magnet auf den Strom im anderen Arme des Kupferbügels hervorbringt.

Auf ähnliche Weise läßt sich auch eine Rotation eines beweglichen Magnets um einen festen Strom hervorbringen; man hat die Apparate, welche zur Hervorbringung solcher Rotationen dienen, auf die mannigfachste Weise abgeändert.

Digitized by Google

Viertes Capitel.

Inductionserscheinungen.

Induction im Nebendrahte. Ein elektrischer Strom kann im 232
Momente seines Beginnens oder Aufhörens oder auch durch seine Annäherung oder Entfernung in einem andern benachbarten Leiter gleichfalls elektrische Ströme erzeugen.

Diese Erscheinungen wurden im Jahre 1838 von Faraday entdeckt und verdienen die größte Aufmerksamkeit, theils wegen ihrer theoretischen Wichtigkeit, theils wegen der zahlreichen Thatsachen, welche sich aus diesem Principe ergeben. Diese Ströme, welche in den Leitern durch eine Art vertheilender Wirkung anderer Ströme hervorgebracht werden, führen den Namen der Inductionsströme. Man könnte sie auch temporäre Ströme nennen, weil sie nur einen Augenblick dauern.

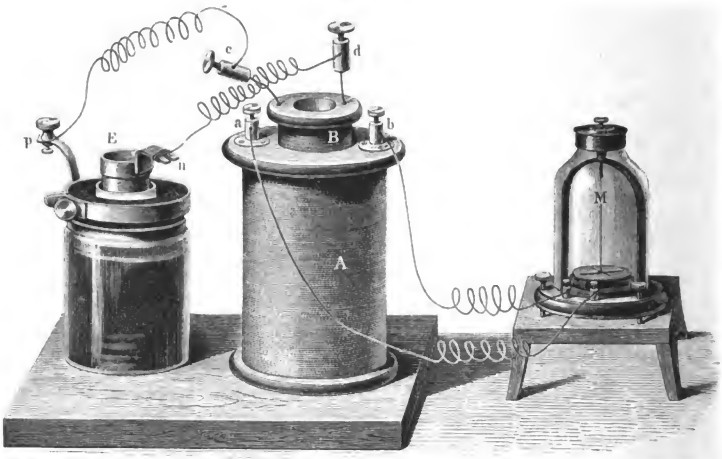
Auf eine im Lichten ungefähr 1 Zoll weite Spule A, Fig. 471 (a. f. S.), sei in vielen Windungen ein dünner mit Seide übersponnener Kupferdraht aufgewickelt, dessen Enden der Bequemlichkeit wegen mit den Klemmschrauben a und b versehen sind. In die Höhlung dieser Spirale paßt eine zweite, ganz ähnlich construirte Spirale B, welche aber gewöhnlich aus weniger Windungen eines dickeren Drahtes besteht. Auch die Drahtenden dieser Spirale sind mit Klemmschrauben c und d versehen.

Wenn nun die Spirale B in die Spirale A eingesteckt ist, so setze man die Klemmschrauben a und b der Spirale A mit den Drahtenden eines Multiplicators M in Verbindung, während man von der Klemmschraube c einen Leitungsdraht nach dem einen, von d einen solchen nach dem anderen Pole einer Volta'schen Säule (etwa einer Wollaston'schen Säule von vier Plattenpaaren, oder einer Daniell'schen von zwei Bechern oder auch nur eines einfachen Bunsen'schen Bechers) führt. Man kann nun den Schließungsbogen der Säule, in welchen die innere Spirale B eingeschaltet ist, nach Belieben schließen und wieder öffnen, und bemerkt, daß bei jeder Schließung und bei jeder Oeff-

Digitized by Google

nung des Stromes, welcher die innere Spirale durchläuft, ein in der äußeren Spirale A circulirender Strom durch den Multiplicator angezeigt wird.

Fig. 471.



Wir wollen die innere Spirale B, welche in den Schließungsbogen der Säule eingeschaltet wird, die Hauptspirale, die andere aber, deren Drahtenden durch den Multiplicator verbunden sind, die Nebenspirale nennen.

In dem Momente, in welchem der Schließungsbogen des Volta'schen Elektromotors geschlossen wird, bemerkt man eine Ablenkung der Nadel des Multiplicators, aus deren Richtung hervorgeht, daß der in der Nebenspirale auf die angegebene Weise hervorgerufene Strom die entgegengesetzte Richtung desjenigen hat, welcher bei der Schließung der Kette in der Hauptspirale entsteht.

Läßt man den Hauptstrom geschlossen, so kehrt die Nadel des Multiplicators nach einigen Schwingungen wieder auf den Nullpunkt zurück, woraus hervorgeht, daß die Strombildung im Nebendrahte nur eine momentane war, welche in dem Momente erzeugt wurde, in welchem der Strom in der Hauptspirale zu circuliren begann.

Die Nadel des Multiplicators bleibt nun ruhig, so lange der Hauptstrom die Hauptspirale durchläuft; in dem Momente aber, in welchem derselbe unterbrochen wird, findet eine abermalige Ablenkung der Multiplicatornadel Statt, deren Richtung der zuerst beobachteten entgegengesetzt ist, welche also anzeigt, daß der jetzt im Nebendrahte hervorgerufene Strom mit dem verschwindenden Strome des Hauptdrahtes gleich gerichtet ist.

Digitized by Google

Nach Faraday's Ausdruck wird nun sowohl beim Entstehen als auch beim Verschwinden des von der Säule herrührenden Stromes im Hauptdrahte ein vorübergehender Strom im Nebendrahte inducirt.

Der im Nebendrahte inducirte Strom ist mit dem Hauptstrome gleich gerichtet im Momente, in welchem dieser Hauptstrom aufhört. Im Momente der Entstehung des Hauptstromes hat der im Nebendrahte inducirte Strom die entgegengesetzte Richtung.

Es ist nicht gerade nöthig, daß Haupt- und Nebendraht gerade so angeordnet sind, wie es oben beschrieben wurde; der inducirende Hauptdraht kann auch die äußere, der inducirte Nebendraht die innere Spirale bilden, oder es können auch die beiden wohl übersponnenen Drähte neben einander auf derselben Spirale aufgewunden sein.

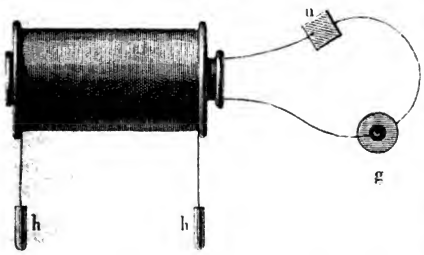
Wenn man die durchströmte Hauptspirale in die Höhlung der Nebenspirale einschiebt, so wird ein Strom in derselben Weise inducirt, wie wenn der Strom in der Hauptspirale entstände. Das Herausziehen der Hauptspirale wirkt auf den Nebendraht wie das Aufhören des Hauptstromes.

Die inducirten Ströme bringen alle Wirkungen der gewöhnlichen Ströme hervor, namentlich aber kräftige physiologische Wirkungen.

Eine solche Inductionsspirale bietet also ein treffliches Mittel, um physiologische Effecte hervorzubringen, namentlich wenn man dafür sorgt, daß die Kette in rascher Aufeinanderfolge bald geschlossen und dann wieder geöffnet wird.

Am einfachsten läßt sich dieser Zweck auf folgende Weise erreichen. Die Drahtenden der Nebenspirale sind, wie Fig. 473 andeutet, mit metallenen Handgriffen *h* versehen. Mit der Hauptspirale, welche in die Nebenspirale eingesteckt ist, befindet sich aber noch ein Unterbrechungsrad bei *n* im Schließungsbogen des galvanischen Bechers *g*. Die Einrichtung des Unterbrechungsrades ist aus Fig. 474 (a. f. S.) zu ersehen. Auf einem Holzklotze stehen zwei Messingpfeiler, welche die metallene Axe eines messingenen Zahnrades tragen, dessen Zähne am besten so geschnitten sind, wie die Zähne des Steigrades einer gewöhnlichen Pendeluhr. An dem einen Messingpfeiler ist der Kupferdraht *a* befestigt, während ein zweiter Kupferdraht *b* federnd gegen das Rad drückt. Man kann nun leicht diesen Apparat in den Schließungsbogen der Kette einschalten, man braucht nur *b* mit dem einen Ende des Hauptdrahtes, *a* mit dem einen Poldrahte des Elektromotors zu verbinden. So oft nun bei Umdrehung des Rades der federnde Draht *b* von einem Zahne des Rades zum anderen überspringt, erfolgt eine Unterbrechung und ein alsbaldiges Wiederschließen des Stromes.

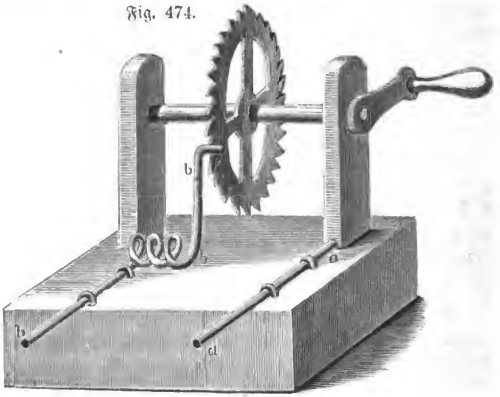
Fig. 473.



Digitized by Google

Faßt nun eine Person die Handgriffe *h* mit angefeuchteten Händen, so em-

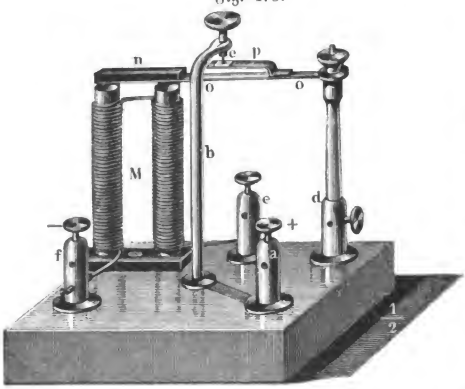
Fig. 474.



pfindet sie eine Reihe rasch auf einander folgender elektrischer Schläge, wenn das Unterbrechungsrad gedreht wird.

Eine andere Unterbrechungsvorrichtung ist der Fig. 475 dargestellte magnetische Hammer. Der durch die Hauptspirale des Inductionsapparates laufende Strom geht auch durch die Windungen des kleinen Elektromagnets *M*. Sobald die Eisenkerne desselben magnetisch werden, ziehen sie den auf der kupfernen Feder *o* befestigten eisernen Anker *n* an, wodurch eine Unterbrechung des Stromes bei *c* erfolgt, indem mit dem Anker *n* auch die Feder *o* niedergezogen wird. — Durch die Unterbrechung des Stromes verlieren die Eisenkerne des Elektromagnets *M* ihren Magnetismus, die Feder *o* schnellt wieder in die Höhe, wodurch der Strom wieder hergestellt wird und dasselbe Spiel von Neuem beginnt.

Fig. 475.



Die physiologischen Effecte der Inductionsspirale lassen sich dadurch bedeutend steigern, daß man in die Höhlung der Hauptspirale einen massiven Eisen-

Digitized by Google

stab, noch mehr aber dadurch, daß man in derselben ein Bündel dünner Eisendrähte einlegt.

Die Stärke der Schläge ist durchaus nicht von der Stromstärke abhängig, wie man dies am leichtesten mit Hülfe eines gewöhnlichen Inductionsapparates mit zwei Spiralen, wie Fig. 473, zeigen kann. Wenn man statt des Unterbrechungsrades bei *n* ein Quecksilbernäpfchen in den Schließungsbogen der Hauptspirale, in den Schließungsbogen der Nebenspirale einen Multiplicator einschaltet, so erhält man einen Ausschlag der Multiplicatornadel, so oft bei *n* der Hauptstrom geschlossen oder unterbrochen wird. Als bei einem derartigen Versuche ein Bündel dünner Eisendrähte in die Höhlung der Hauptspirale eingeschoben war, betrug die Ablenkung 45°; wurde das Bündel mit einem massiven Eisencylinder vertauscht, so betrug sie 63°. Obgleich aber hier die Stromstärke für den massiven Eisencylinder bedeutend größer war, so erhielt man doch für das Drahtbündel ungleich stärkere Schläge.

Im Allgemeinen ist die Stromstärke der Inductionsströme eine sehr geringe, wie schon daraus hervorgeht, daß man ja den Multiplicator anwenden muß, um eine Ablenkung der Nadel zu erhalten. Daß dessenungeachtet die Inductionsströme so starke Schläge geben, kann jedoch nicht auffallen, wenn man bedenkt, daß der Entladungsschlag der Leydener Flasche, welcher die Nerven so heftig erschüttert, durch einen Multiplicator geleitet, doch nur eine sehr schwache Wirkung auf die Nadel ausübt. (Man muß, um dieselbe hervorzubringen, den Entladungsschlag durch Einschaltung einer feuchten Schnur verzögern.) Somit ist klar, daß die Stärke der physiologischen Wirkung überhaupt nicht von der Quantität der Elektricität abhängt, welche durch den Körper hindurchgeht, sondern von der Schnelligkeit, mit welcher die Entladung einer gewissen Elektricitätsmenge vor sich geht.

Daraus kann man nun schließen, daß die Zeitdauer der Inductionsströme eine sehr kurze ist, daß eine, wenn auch geringe Elektricitätsmenge doch sehr schnell durch den Körper hindurch entladen wird. Wenn bei gleicher Stromstärke ein Bündel von Eisendrähten stärkere Schläge giebt als ein massiver Eisenstab, so muß man schließen, daß im ersteren Falle dieselbe Elektricitätsmenge rascher durch den Körper entladen wird als im zweiten.

Nach den kräftigen physiologischen Wirkungen, welche mit Hülfe von Eisendraht-Bündeln durch Inductionsapparate hervorgebracht werden, ließ sich erwarten, daß ein solcher Inductionsstrom hinlängliche Intensität besitzen werde, um zwischen den genäherten Drahtenden der nicht geschlossenen Inductionsspirale in Form von Funken überzuspringen.

Sinsteden ist es zuerst gelungen, durch Vermehrung der Drahtwindungen der Inductionsspirale und durch möglichst vollständige Isolirung derselben solche Funken mit Inductionsapparaten hervorzubringen. Später hat besonders Ruhmkorff die Inductionsapparate nach dieser Richtung hin vervollkommnet. Die größten Ruhmkorff'schen Apparate liefern Funken von 40 bis 50 Centimetern Länge, welche die der kräftigsten Elektrisirmaschine weit übertreffen.

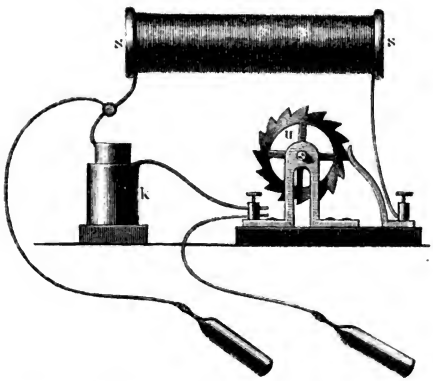
Digitized by Google

Mit Erfolg hat man die Ruhmkorff'schen Apparate zum Entzünden von Minen in Anwendung gebracht.

233 **Einwirkung der Windungen auf einander.** Wenn man eine einfache Kette durch einen kurzen Draht schließt, so erhält man nur einen schwachen Funken, wenn man die Kette wieder öffnet; einen Schlag erhält man dabei nicht; wendet man aber statt des kurzen einen sehr langen, spiralförmig aufgewundenen Draht an, so sieht man beim Oeffnen der Kette einen ungleich stärkeren Funken überspringen, und wenn man das eine Drahtende in der einen, das andere in der anderen Hand hält, so fühlt man im Momente des Oeffnens einen Schlag.

Um solche Unterbrechungsschläge einer einzigen Spirale in rascher Aufeinanderfolge durch den Körper zu senden, kann man die in Fig. 476 angedeutete Anordnung anwenden. *S* ist die Spirale, *k* der galvanische Becher, *u* ist das Unterbrechungsrad. Die Handhaben sind angebracht, wie die Figur zeigt, so daß während der Unterbrechung des Hauptstromes der die Handhaben fassende Körper den Schließungsbogen der Spirale bildet. Diese Erscheinung erklärt sich folgendermaßen:

Fig. 476.



Wenn die Nebenspirale fehlt, so wirkt jede Windung der Hauptspirale inducirend auf die benachbarten; beim Schließen der Kette wird also in der stromleitenden Spirale selbst ein Strom inducirt, welcher dem entstehenden Hauptstrome entgegengesetzt ist und deshalb nicht zur Wirkung kommt. Beim Oeffnen der Kette wird dagegen ein mit dem Hauptstrome gleichgerichteter Strom inducirt, welchen Faraday mit dem Namen Extrastrom bezeichnet hat.

Auch die Schläge des Extrastromes werden wie die des gewöhnlichen Inductionsstromes dadurch bedeutend verstärkt, daß man Eisenstäbe oder noch besser Bündel von Eisendraht in die Höhlung der Spirale einlegt.

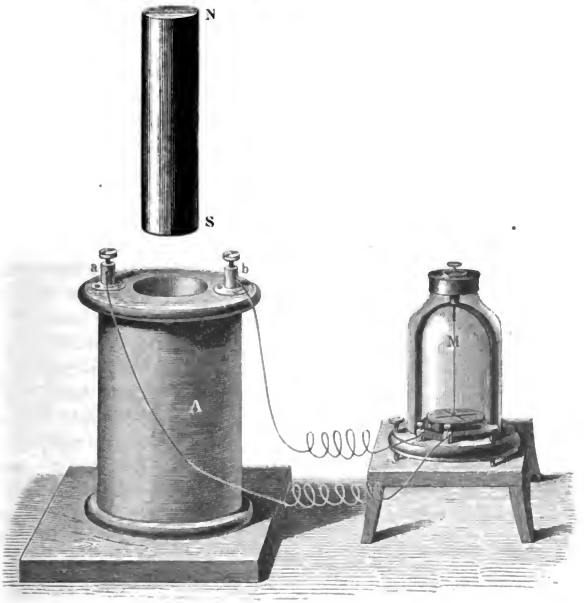
Man hat die Extraströme ebenso wie die in §. 232 besprochenen und in §. 234 noch zu besprechenden Inductionsströme vielfach zu medicinischen Zwecken und zu physiologischen Untersuchungen in Anwendung gebracht.

234 **Induction elektrischer Ströme durch Magnete.** Wenn man in die Höhlung einer Drahtspirale, deren Enden mit den Drahtenden eines

Digitized by Google

Multiplicators verbunden sind, einen Magnetstab NS, Fig. 477, einschiebt, so wird die Nadel abgelenkt, um nach einigen Schwingungen wieder auf den

Fig. 477.



Nullpunkt zurückzukehren, wenn man den Magneten ruhig in der Spirale läßt; sobald man ihn aber zurückzieht, erfolgt ein Ausschlag nach der entgegengesetzten Seite.

Es versteht sich von selbst, daß der Multiplicator hinlänglich weit entfernt ist, um nicht direct durch die Bewegung des Magnetstabes afficirt zu werden. Die Richtung des Stromes, welche das Galvanometer bei der Annäherung des Magnets anzeigt, ist der Richtung der Ströme entgegengesetzt, welche nach der Ampère'schen Theorie den Magneten umkreisen; der bei der Entfernung des Magnets im Drahte inducirte Strom hat mit jenen Strömen gleiche Richtung.

Bei diesem Versuche wird eine Wirkung auf die geschlossenen Drahtwindungen durch das Einschieben oder Herausziehen des Magnets hervorgebracht. Die magnetische Wirkung kann aber auch noch auf eine andere Weise anfangen und aufhören; sie kann in dem Augenblicke anfangen, in welchem die magnetischen Flüssigkeiten im Eisen zersetzt werden, und aufhören, wenn es wieder in

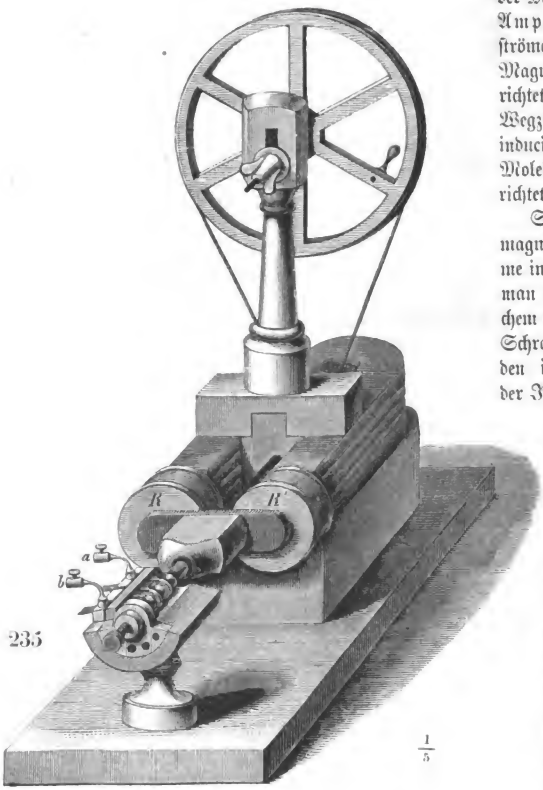
Digitized by Google

den nichtmagnetischen Zustand zurückkehrt. Dies läßt sich auf folgende Weise zeigen.

In die Höhlung der Spirale Fig. 477, in deren Schraubklemmen die Enden des Multiplicatordrahtes eingeschraubt sind, stecke man einen massiven Cylinder von weichem Eisen, dem man von oben her einen Magnetstab abwechselnd nähert und dann denselben wieder entfernt. Beim Annähern des Magnetstabes wird der Eisenstab magnetisch, beim Zurückziehen desselben verschwindet dieser Magnetismus wieder.

Beim Annähern des Magnets wird aber in der Spirale ein Strom inducirt, dessen Richtung, wie der Multiplicator zeigt, den Ampère'schen Molekularströmen dieses temporären Magnets entgegengesetzt gerichtet ist, während der beim Wegziehen des Magnets inducirte Strom mit diesen Molekularströmen gleich gerichtet ist.

Fig. 478.



235

Selbst durch den Erdmagnetismus können Ströme inducirt werden. Wenn man einen Stab von weichem Eisen, der mit einem Schraubendrahte umwunden ist, in die Richtung der Inclinationsnadel hält, dann aber rasch umdreht, so daß das obere Ende unten, das untere oben hin kommt, so wird in dem Schraubendrahte ein Strom inducirt.

Magneto-elektrische Rotationsmaschine. Um auf bequeme Weise mit den durch Magnete inducirten Strömen Versuche anstellen zu können,

Digitized by Google

hat man besondere Maschinen construirt, welche den Namen der magneto-elektrischen Rotationsmaschinen führen. Fig. 478 stellt eine solche dar.

Ein aus mehreren Lamellen zusammengesetzter Hufeisenmagnet liegt wagerecht. In der Mitte zwischen den beiden Schenkeln desselben ist die Rotationsaxe angebracht, um welche sich die Inductionsspiralen drehen. Die Umdrehung dieser Axe wird durch einen Schnurlauf bewirkt, welcher von einer größeren oberhalb befindlichen Drehscheibe über eine kleinere auf der Axe sitzende Rolle geht.

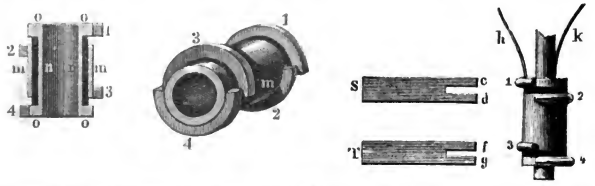
Die beiden Enden dieser eisernen Umdrehungsaxe laufen in Spitzen. Auf der vorderen Hälfte derselben ist eine eiserne Platte befestigt, welche, gegen die Magnetpole gekehrt, zwei Cylinder von weichem Eisen trägt, auf denen die Inductionsspiralen R aufgesteckt sind.

Wenn nun die Axe mit der Eisenplatte, ihren Eisenkernen und Inductionsspiralen in Rotation versetzt wird, so werden die Eisenkerne mit den Spiralen bald dem einen, bald dem anderen Magnetpole genähert und dann wieder von demselben entfernt, und so muß dann ein ähnlicher Inductionseffect entstehen, wie wir ihn im vorigen Paragraphen kennen lernten.

Es kommt nun darauf an, während der Rotation der Spiralen zwischen den freien Drahtenden derselben stets denjenigen Körper eingeschaltet zu erhalten, durch welchen man die Inductionsströme hindurchsenden will; dies wird durch eine Vorrichtung vermittelt, welche man den Commutator nennt und welche an dem vorderen Theile der Rotationsaxe befestigt ist.

Die Figuren 479 bis 481 stellen den Stöhrer'schen Commutator dar. An beiden Enden des Messingrohres m sind zwei halbkreisförmige Stahlkämme 2 und 3 so angelöthet, daß sie sich genau gegenüberliegen und die Enden derselben sich etwas überragen. Innerhalb des Rohres m, von demselben durch

Fig. 479. Fig. 480. Fig. 481.



ein dünnes Buchsbaumrohr getrennt, steckt ein zweites Messingrohr n, welches an beiden Enden etwas vorragt. Die Vorsprünge tragen zwei mit dem Rohre n aus einem Stück gedrehten Ringe o von gleichem Durchmesser mit der Höhlung des Rohres m; auf diese Ringe sind die Stahlkämme 1 und 4 den Stahlkämmen 3 und 2 correspondirend aufgelöthet, wie man dies am deutlichsten in Fig. 481 sieht.

Dieses ganze System ist auf der Umdrehungsaxe befestigt.

Das eine Drahtende k, Fig. 481, der Spiralen führt zum Kamm 2, das andere Drahtende h führt zum Kamm 1.

Digitized by Google

Zwei flache dünne Stahlfedern sind an dem Gestelle der Maschine so angebracht, daß ihre vorderen geschlitzten Enden die Stahlkämme von oben leicht berühren; sie können nach Belieben mittelst einer Schraube mehr oder weniger gespannt werden.

Der leichteren Uebersicht wegen sind in Fig. 481 die beiden Federn etwas von der Walze abgerückt gezeichnet. Die Feder S theilt sich in die Gabeln c und d; die Feder T theilt sich in die Federn f und g.

Mit der Feder S ist die Klemmschraube a, Fig. 478, mit T ist b in leitender Verbindung. Zwischen a und b werden die Körper eingeschaltet, durch welche man die Inductionsströme hindurchsenden will.

In der Stellung, welche Fig. 481 entspricht, schleift d auf 2, g auf 4, während c und f frei sind. Wenn nun aber 2 von k die positive Elektricität aufnimmt, während 4 mit dem negativen Drahtende h in leitender Verbindung steht, so circulirt der positive Strom in folgender Weise durch den Apparat: Von k geht er durch den Kamm 2 und die Gabel d zur Klemmschraube a, von dieser durch den eingeschalteten Leiter nach b, um über g und den Kamm 4 zum negativen Drahtende h der Spiralen zu gelangen.

Dreht sich nun die Axe für einen vorn stehenden Beschauer wie der Zeiger einer Uhr, so wird alsbald der Kamm 2 die Gabel d und der Kamm 4 die Gabel g verlassen, während c auf 1 und f auf 3 zu liegen kommt; der Commutator ist aber so gestellt, daß dieser Wechsel gleichzeitig mit dem Wechsel der Stromrichtung in den Spiralen stattfindet, so daß also in diesem Momente h das positive und k das negative Drahtende der Spiralen wird; es geht also der positive Strom jetzt von h auf 1, von da durch c nach a u. s. w.; es wird also auch jetzt der positive Strom den zwischen den Klemmschrauben eingeschalteten Körper noch in der Richtung von a nach b durchlaufen.

Durch den Stöhrer'schen Commutator wird also bewirkt, daß der Inductionsstrom durch den zwischen a und b eingeschalteten Körper stets in gleicher Richtung hindurchgeht, obgleich die Stromrichtung in den Spiralen mit jeder halben Umdrehung sich ändert.

Während der Rotation der Spiralen nehmen die in ihnen inducirten Ströme allmälig ab und zu; langsam wachsende Ströme bringen aber keine starke physiologische Wirkung, wohl aber alle anderen Wirkungen des galvanischen Stromes hervor.

Schraubt man in die Klemmschrauben a und b die Drahtenden eines Elektromagnets ein, so wird dieser durch die Inductionsströme erregt; die Nadel einer zwischen a und b eingeschalteten Tangentenbussole zeigt, da die Ströme stets in gleicher Richtung dieselbe durchlaufen, bei einigermaßen schneller Drehung eine constante Ablenkung. In einem zwischen a und b eingeschalteten Voltameter findet Wasserzersetzung Statt, und zwar wird das Sauerstoffgas stets an der einen, das Wasserstoffgas stets an der anderen Platte ausgeschieden. Der Strom einer magneto-elektrischen Rotationsmaschine kann, wenn derselbe kräftig genug ist, einen dünnen Metalldraht glühend machen u. s. w.

Will man mit dem Rotationsapparate physiologische Schläge hervorbrin-

Digitized by Google

gen, so muß für eine momentane Unterbrechung des Hauptstromes gesorgt sein. Dies geschieht beim Stöhrer'schen Commutator dadurch, daß die Kämme etwas übereinandergreifen, wie dies in Fig. 480 etwas übertrieben gezeichnet ist. Dadurch wird bewirkt, daß bei jeder halben Umdrehung einmal auf ganz kurze Zeit alle vier Kämme des Commutators an den Federn schleifen, so daß für diese Zeit der Strom direct durch die Federn geschlossen ist und kein Strom durch den Schließungsbogen geht, welcher zwischen den Klemmschrauben *a* und *b* eingeschaltet ist. Dieser also im Apparate selbst zurückkehrende Strom ist ziemlich stark, weil er außer dem Leitungswiderstande in den Spiralen keinen Leitungswiderstand im Schließungsbogen zu überwinden hat, und in dem Augenblicke, wo nun zwei Kämme ihre Federn verlassen, wo also dieser directe Strom unterbrochen wird, entsteht in Folge dieser Stromunterbrechung in den Spiralen ein Extrastrom, welcher in dem zwischen *a* und *b* mittelst Handgriffen eingeschalteten menschlichen Körper einen heftigen Schlag hervorbringt. Diesen Schlag erhält also der Körper zweimal bei jeder Umdrehung der Rotationsaxe.

Die Unterbrechung des im Apparate selbst zurückkehrenden Stromes giebt sich auch durch einen kräftigen an der Unterbrechungsstelle auftretenden Funken zu erkennen.

Diamagnetismus. Nachdem Faraday die Erscheinungen der In- 236
ductionsströme entdeckt hatte, gelangte er zu der Ansicht, daß der Hauptdraht auf den Nebendraht eine beständige Wirkung ausüben müsse, daß der Schließungsschlag nur den Uebergang des Drahtes in einen neuen hypothetischen Zustand, der Oeffnungsschlag aber die Rückkehr aus demselben fühlbar mache. Diesen hypothetischen Zustand nannte er den elektrotonischen Zustand; ein solcher Zustand sollte nun nach seiner Ansicht in jedem Körper hervorgerufen werden, der sich in der Nähe einer durchströmten Spirale oder eines Magnets befinde. Nach vielen vergeblichen Versuchen gelang es ihm endlich, eine Reihe hierher gehöriger Erscheinungen aufzufinden.

Fig. 482.

Führt man einen elektrischen Strom in vielfachen Windungen um eine durchsichtige Flüssigkeit herum, so wird derselben durch diesen Strom ein eigenthümliches Verhalten gegen polarisirte Lichtstrahlen mitgetheilt. Fig. 482 stellt einen Apparat dar, mit welchem man die eben erwähnte Erscheinung beobachten kann; *a* und *b* sind zwei Nichol'sche Prismen, Kalkspathprismen, welche nur ein polarisirtes Bild geben, also die beiden Spiegel des Polarisations-Apparates vertreten. *s* ist eine Magnetisirungsspirale, in deren Höhlung eine an

Digitized by Google

beiden Enden mit Glasplatten geschlossene und mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllte Röhre steckt. Man sieht durch die beiden Nichol'schen Prismen und die mit der Flüssigkeit gefüllte Röhre nach der Flamme einer Argand'schen Lampe. Das Ocularnicol *b* wird so gedreht, daß das Gesichtsfeld dunkel ist; läßt man nun einen kräftigen galvanischen Strom durch die Spirale gehen, so erscheint alsbald die Flamme wieder, und man muß das Ocularnicol *b* nach der rechten oder linken Seite drehen, um sie wieder verschwinden zu machen.

Die Polarisationsebene des Strahles wird nach derselben Richtung gedreht, nach welcher der positive Strom in der Spirale circulirt.

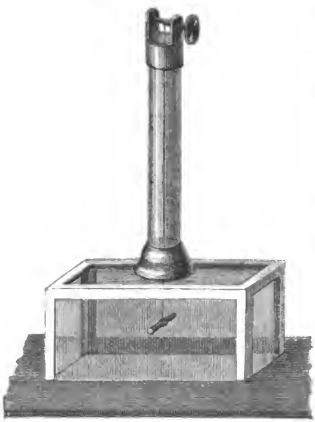
Man muß schon sehr starke Ströme anwenden und die Spirale muß viele Windungen haben, wenn man diese Erscheinung recht deutlich machen will.

Der galvanische Strom, oder ein Elektromagnet, bringt also auch auf nicht magnetische Körper eine continuirliche Wirkung hervor, die zuerst auf optischem Wege nachgewiesen wurde; diese Einwirkung muß aber auch auf undurchsichtige Körper stattfinden, sie muß also auch noch andere als optische Erscheinungen hervorbringen können.

Um diese Wirkung zu zeigen, wird auf jedem Pole des Elektromagnets Fig. 453 ein weiches Eisen von der Form Fig. 483 aufgesetzt, so daß die Spitzen derselben einander zugekehrt sind. Auf das Tischlein *t* setzt man den Glaskasten Fig. 484, welcher in der Mitte eine Glasröhre trägt. In dieser Röhre hängt ein Coconfaden herab, der ein Stäbchen des zu untersuchenden Körpers trägt. Man richtet den Faden so, daß das Stäbchen genau in die Mitte der beiden Pole zu hängen kommt. Sobald nun der Strom durch die Windungen des Elektromagnets geht, wirken die Pole desselben auf das Stäbchen. Ist das Stäbchen von Eisen oder sonst einem magnetischen Körper, so stellt es sich so, daß seine Längenaxe mit der Verbindungslinie der beiden Pole zusammenfällt; solche Stäbchen aber, die aus nicht magnetischen Körpern gebildet sind, stellen sich rechtwinklig zu der Verbindungslinie der beiden Pole.

Fig. 483.

Fig. 484.



Alle Körper, welche das letztere Verhalten zeigen, nennt Faraday diamagnetische Körper. Sehr wenige magnetische Metalle ausgenommen, sind alle anderen Körper diamagnetische. Besonders stark diamagnetisch ist Wismuth.

Die quere Stellung der magnetischen

Digitized by Google

Körper zwischen den Polen des Elektromagneten ist die Folge einer Abstoßung, welche die Magnetpole auf sie äußern. Diese Abstoßung zeigt sich am besten auf folgende Weise: Man stelle die Pole Fig. 483 ganz nahe zusammen und hänge an den Faden nun ein Wismuthkügelchen, welches man so richtet, daß es gerade zwischen den beiden Polspitzen hängt. Sobald man die Kette schließt, wird das Kügelchen aus seiner Ruhelage getrieben und etwas auf die Seite gestoßen.

Digitized by Google

Fünftes Capitel.

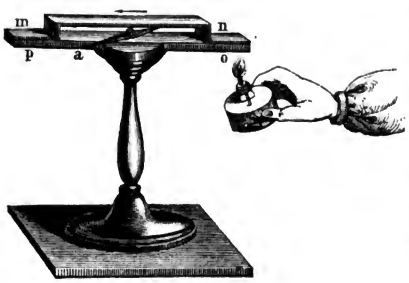
Thermoelektrische Ströme und thierische Elektricität.

---

237 **Thermoelektrische Elemente.** Wenn zwei Metallstäbe so zusammengelöthet sind, daß sie eine geschlossene Kette von beliebiger Form bilden, so entsteht ein mehr oder minder starker Strom, so oft die beiden Löthstellen verschiedene Temperatur haben, und der Strom dauert so lange fort, als der Temperaturunterschied erhalten wird.

Es läßt sich dies für einen speciellen Fall mit dem Apparate Fig. 485 nachweisen. *o p* ist ein Stäbchen von Wismuth, *m n* ein Streifen von Kupfer, welcher an die Enden des Wismuthstäbchens angelöthet ist; *a* ist eine auf einer Spitze frei spielende Magnetnadel. Wenn die beiden Löthstellen noch die Temperatur der umgebenden Luft haben, wird der Apparat so gestellt, daß die Ebene des Streifens *o p* in die Ebene des magnetischen Meridians fällt, daß also die Nadel mit der Axe und den Längenkanten des Wismuthstäbchens parallel steht; sobald nun eine der Löthstellen, etwa *o*, erwärmt wird, erleidet die Nadel eine mehr oder weniger bedeutende Ablenkung: erkaltet man aber dieselbe Löthstelle *o* unter die Temperatur der umgebenden Luft, so beobachtet man eine Ablenkung nach entgegengesetzter Richtung.

Fig. 485.



Diese Ablenkungen der Nadel bald nach der einen, bald nach der anderen Richtung zeigen offenbar einen elektrischen Strom an, welcher den Apparat in einer bestimmten Richtung durchkreist, wenn die Löthstelle *o* wärmer ist als *p*; in der entgegengesetzten aber, wenn die Löthstelle *o* kälter ist als die Löthstelle *p*.

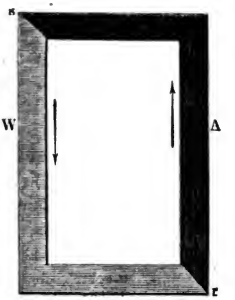
Digitized by Google

Nicht alle Metalle geben so in die Augen fallende Resultate, wie Wismuth und Kupfer.

Es ist nicht gerade nöthig, daß man einen besonderen Apparat der Art hat, um den thermoelektrischen Fundamentalversuch zu machen; man kann dazu jede gehörig leicht bewegliche Compaßnadel, etwa die Fig. 486 abgebildete,

Fig. 486.

Fig. 487.



anwenden. Als thermoelektrisches Element wendet man gewöhnlich ein längliches Rechteck, Fig. 487, an, welches aus Wismuth und Antimon zusammengesetzt ist; in der Figur bezeichnet die hellschattirte Hälfte Wismuth, die andere Antimon. Diese beiden Metalle sind bei *s* und *r* zusammengelöthet. Um den Versuch zu machen, erwärmt man vorsichtig die eine Löthstelle über einer kleinen Weingeistlampe und hält dann die eine der längeren Seiten des Rechtecks gerade über die sich noch in ihrer gewöhnlichen Lage befindende Magnetnadel. Es ist hier noch zu bemerken, daß Fig. 487 in einem kleineren Maßstabe gezeichnet ist als Fig. 486; man muß das Rechteck aus Wismuth und Antimon doch so groß machen, daß jede der längeren Seiten wenigstens die Länge der Magnetnadel hat.

Fig. 488 stellt ein offenes thermoelektrisches Element dar. An die beiden

Fig. 488.

Enden eines Wismuthstabes sind Streifen von Kupferblech angelöthet. Bringt man die Enden *c* und *d* mit den Drahtenden eines Multiplicators in leitende Verbindung, so wird die Nadel desselben abgelenkt, wenn eine der beiden Löthstellen *a* oder *b* erwärmt wird, während die andere kalt bleibt.

Die Untersuchungen, die man über das gegenseitige Verhalten verschiedener Metalle in Beziehung auf die Erregung thermoelektrischer Ströme gemacht hat,

Digitized by Google

haben gezeigt, daß sich die Metalle in eine Reihe zusammenfassen lassen, welche die Eigenschaft hat, daß, wenn man aus je zwei Metallen dieser Reihe eine Kette bildet und an der einen Berührungsstelle erwärmt, an dieser erwärmten Löthstelle der positive Strom von dem in der Reihe tiefer stehenden Metalle zu dem höher stehenden übergeht:

Antimon	Zinn
Eisen	Silber
Zink	Platin
Gold	Quecksilber
Kupfer	Wismuth.
Blei	

In dem Apparate Fig. 485 geht also, wenn die Löthstelle bei *o* erwärmt ist, der Strom in der Richtung des Pfeils durch den Apparat; an der erwärmten Berührungsstelle *o* ist also das in der Reihe höher stehende Kupfer positiv gegen das tiefer stehende Wismuth. In dem Rechteck Fig. 487 circulirt der positive Strom in der Richtung der Pfeile, wenn die Löthstelle bei *r* wärmer ist.

238 **Thermoelektrische Säulen.** So wie man mehrere Volta'sche Elemente, so kann man auch mehrere thermoelektrische Elemente zu einer thermoelektrischen Säule vereinigen, welche einen Strom geben, wenn man die Löthungsstellen 1, 3, 5 u. s. w. erwärmt, während die dazwischen liegenden kalt bleiben.

Solche thermoelektrischen Säulen können dazu dienen, um in Verbindung mit Multiplicatoren die geringsten Temperaturdifferenzen sichtbar zu machen. Unter allen zu diesem Zwecke construirten Säulen ist unstreitig die von Nobili angegebene die sinnreichste und empfindlichste; sie ist Fig. 489 dargestellt. Sie ist aus 25 bis 30 Stäbchen von Wismuth und Antimon zusammengesetzt, welche ungefähr 4 bis 5 Centimeter lang sind. Sie sind zusammengelöthet, wie man Fig. 490 sieht, nämlich so, daß alle paarigen Löthstellen auf der einen, alle unpaarigen auf der anderen Seite sich befinden. Die Zwischenräume zwischen den einzelnen Stäbchen sind mit einer isolirenden Substanz ausgefüllt und das ganze Bündel ist alsdann mit einer gemeinsamen Fassung umgeben, wie Fig. 489 zeigt. Das eine der beiden Halbelemente endlich, mit denen die Kette endigt, ist mit dem Stifte *x*, das andere mit dem Stifte *y* in Verbindung, und diese Stifte bilden auf diese Weise die beiden Pole der Säule, und mit ihnen werden die Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung gebracht.

Fig. 489.

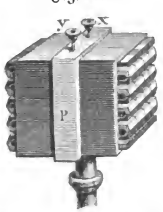


Fig. 490.

Digitized by Google

Wenn die Löthstellen auf der einen Seite nur die geringste Temperaturerhöhung erfahren, so wird die Multiplicatornadel sogleich aus dem magnetischen Meridian abgelenkt.

Thierische Elektricität. Es ist schon lange bekannt, daß es 239
Fische giebt, welche elektrische Schläge zu geben im Stande sind; unter diesen sind der Zitterrochen und der Zitteraal die ausgezeichnetsten. Der Zitterrochen kommt im mittelländischen Meere und im atlantischen Oceane, der Zitteraal aber in den Landseen Südamerikas vor.

Nimmt man den Zitterrochen aus dem Wasser, so erhält man einen Schlag, wenn man mit der einen Hand den Bauch, mit der anderen den Rücken anfaßt.

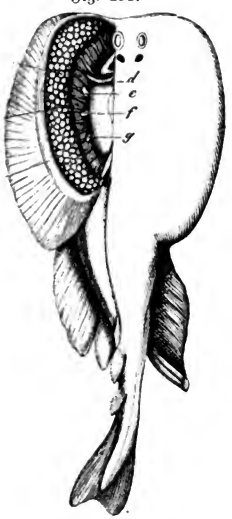
Wenn sich das Thier im Wasser befindet, so ist eine unmittelbare Berührung desselben zur Ertheilung eines Schlages nicht nöthig.

Das Ertheilen eines elektrischen Schlages liegt ganz in der Willkür des Thieres.

Der Rücken des Zitterrochens ist positiv, der Bauch negativ elektrisch. Der elektrische Strom, welcher durch einen Leitungsdraht geht, der den Rücken mit dem Bauche verbindet, bringt alle Wirkungen anderer elektrischer Ströme, wenn auch zum Theil in schwachem Maße, hervor.

Das Organ, in welchem sich die Elektricität entwickelt, hat bei den verschiedenen elektrischen Fischen im Wesentlichen dieselbe Textur, dasselbe Ansehen, obgleich seine Gestalt, seine Größe und seine Anordnung verschieden sind. Wir wollen nun versuchen, eine Idee von dem Organe des Zitterrochens zu geben, welches am genauesten untersucht worden ist.

Fig. 491.



Die Fig. 491 stellt einen Zitterrochen von oben gesehen dar, welcher auf der einen Seite geöffnet ist, so daß man das elektrische Organ sieht. Es geht vorn bis dicht an den Vorderrand des Kopfes, seine obere Fläche stößt mittelst einer faserigen Haut an die Haut des Rückens, seine untere an die des Bauches; seine äußere Fläche ruht an dem Knorpel der Seitenflosse, seine innere an der Muskulatur des Kopfes und des vorderen Theiles des Rumpfes. Von oben oder unten gesehen, zeigt das elektrische Organ polygonale oder rundliche Abtheilungen, Fig. 492 (a. f. S.); von der Seite aber sieht man parallele Streifen, wie Fig. 493 (a. f. S.) zeigt. Das ganze Organ besteht aus einer Menge polygonaler oder rundlicher Säulchen,

Digitized by Google

deren Axe die Richtung vom Bauche zum Rücken hat. Die Randbegränzung jeder Säule bildet eine etwas dichtere, sehnichte Membran, welche, wie es scheint, dieselben Dienste leistet wie die Glasstäbe, zwischen welchen die galvanische Säule aufgebaut wird. Jedes Säulchen besteht aus einer Menge auf einander geschichteter feiner Blättchen; diese kleinen, bald ebenen, bald gebogenen Blättchen sind durch sehr klebrige Schleimschichten von einander getrennt, und somit bieten diese Säulchen in ihrer Construction eine große Aehnlichkeit mit einer aufgebauten Volta'schen Säule dar.

Fig. 492.

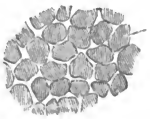
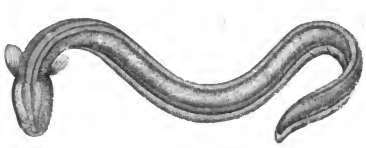


Fig. 493.

Man zählt bei dem Zitterrochen gewöhnlich 400 bis 500 solcher Säulchen auf jeder Seite desselben.

Bei dem Zitteraale, Fig. 494, liegt das elektrische Organ in dem sehr langen Schwanze. Bei diesem Thiere nämlich liegt der After so weit nach vorn, daß der Schwanz des Gymnotus fast $4\frac{1}{2}$mal so lang ist als Kopf und Rumpf zusammengenommen; das elektrische Organ liegt fast der ganzen Länge des Schwanzes nach auf jeder Seite und unterhalb desselben, so daß der elektrische Apparat dieses Thieres eine bedeutende Ausdehnung hat, woher es denn auch kommt, daß der Zitteraal so außerordentlich starke Schläge ertheilen kann.

Fig. 494.



Bei dem Gymnotus stehen die Säulchen, welche das elektrische Organ bilden, nicht senkrecht wie beim Zitterrochen, sondern sie laufen in der Richtung des Schwanzes fort, so daß die Scheibchen, aus denen sie bestehen, senkrecht stehen; daher kommt es denn auch, daß beim Zitteraale der positive Strom in der Richtung vom Kopfe nach dem Schwanze, also nicht wie beim Zitterrochen vom Rücken zum Bauche geht.

Im thierischen Organismus sind jedoch auch elektrische Ströme nachgewiesen worden, welche nicht durch besondere elektrische Organe hervorgebracht werden. Nobili hat gefunden, daß, wenn man mit dem einen Drahtende eines empfindlichen Multiplicators den Kopf, mit dem anderen Drahtende die Füße eines lebenden oder frisch getödteten Frosches berührt, ein Strom vom Kopfe nach den Füßen geht; ebenso läßt sich ein Strom nachweisen, wenn man in den Muskel irgend eines Thieres einschneidet und den äußeren Muskel mit der Schnittfläche durch den Multiplicatordraht verbindet.

Du Bois-Reymond hat die Gesetze des Muskelstromes näher bestimmt und auch ähnliche Stromwirkungen an den Nerven nachgewiesen.

Digitized by Google

Fünftes Buch.

Von der Wärme.

Digitized by Google

Digitized by Google

Erstes Capitel.

Ausdehnung.

Wirkungen der Wärme. Unser Gefühlsvermögen unterscheidet 240
verschiedene Zustände an den Körpern, die wir mit heiß, warm, kalt u. s. w. bezeichnen. Wenn ein Körper, den wir kalt nennen, warm wird, wenn er heiß wird, so nimmt er auch an Volumen zu, er dehnt sich aus.

Die unbekannte Ursache, welche diese Ausdehnung der Körper bewirkt und welche zugleich die verschiedenen eben erwähnten Empfindungen unseres Gefühlsvermögens veranlaßt, nennt man Wärme.

Die Wärme bewirkt nicht allein eine Ausdehnung der Körper, sondern sie ist auch im Stande, die Aggregatzustände der Körper zu verändern, sie bewirkt die Schmelzung fester und die Verdampfung flüssiger Körper. Wir wollen nun im Folgenden die Gesetze dieser Erscheinungen näher betrachten.

Das Thermometer. Da alle Körper durch die Wärme ausgedehnt 241
werden, und da das Volumen eines Körpers von dem Grade seiner Erwärmung abhängt, so kann die Ausdehnung eines Körpers dazu dienen, um den Grad seiner Erwärmung zu messen. Man nennt die Temperatur eines Körpers den Grad seiner Erwärmung, die Instrumente aber, welche man anwendet, um die Temperatur zu bestimmen, nennt man Thermometer.

Fig. 495 (a. f. S.) stellt ein Quecksilberthermometer dar. An dem unteren Ende einer engen Glasröhre befindet sich ein kugelförmiges oder cylindrisches Gefäß; dies Gefäß und ein Theil der Röhre sind mit Quecksilber gefüllt. Durch Erwärmung vermehrt sich das Volumen des Quecksilbers, es steigt in der Röhre, und man sagt, die Temperatur sei erhöht worden. Wenn die Kugel erkaltet, vermindert sich das Volumen des Quecksilbers wieder, das Quecksilber sinkt in der Röhre, und man sagt, die Temperatur sei gefallen.

Bei gleicher Temperatur nimmt der Gipfel der Quecksilbersäule auch stets dieselbe Stelle in der Röhre ein. Wenn man ein anderes größeres oder kleineres Thermometer mit dem ersteren vergleicht, so werden beide mit einander steigen und fallen, aber die absolute Größe des Steigens und Fallens kann doch sehr verschieden sein. Wenn z. B. die beiden Gefäße gleich sind, aber die eine Röhre einen zehnmal größeren Querschnitt als die andere hat, so würde bei gleicher Temperaturerhöhung das Quecksilber in der engen Röhre zehnmal so hoch steigen als in der anderen.

Digitized by Google

Um ein Thermometer zu machen, wird an eine enge, ihrer ganzen Länge nach gleich weite Glasröhre ein Gefäß *t*, Fig. 496, angeblasen und oben ein weiteres mit einem offenen Röhrchen endigendes Gefäß *h* angelöthet. Um den ganzen Apparat mit Queckſilber zu füllen, werden zunächſt *h* und *t* über der Weingeiſtlampe erwärmt und dadurch die Luft, welche ſie enthalten, ausgedehnt. Kehrt man nun die ganze Vorrichtung um, die Spitze von *h* in ein Gefäß mit Queckſilber tauchend, ſo wird beim Erkalten von *h* und *t* die in ihnen enthaltene Luft ſich zuſammenziehen und das Gefäß *h* wird ſich zum Theil mit Queckſilber füllen. — Nun wird der Apparat wieder in aufrechte Stellung gebracht und *t* abermals erwärmt, um die in ihm noch enthaltene Luft theilweiſe auszutreiben, welche in Form von Bläschen durch das Queckſilber in *h* entweicht. Beim Erkalten füllt ſich dann ein Theil des Gefäßes *t* mit Queckſilber, welches aus *h* herabſteigt, um den Raum der ausgebliebenen Luft einzunehmen. Bei abermaliger Erwärmung des Gefäßes *t* wird von Neuem ein Theil der eingeſchloſſenen Luft ausgetrieben, die Erwärmung wird aber jetzt ſo weit fortgeſetzt, bis das Queckſilber in *t* ins Kochen kommt, und nun nehmen die mit Heftigkeit entweichenden Dämpfe des Queckſilbers die noch übrige Luft vollſtändig mit fort. Beim Erkalten verdichten ſich die Dämpfe in *t*, und aus *h* ſinkt nun das Queckſilber herab, um *t* vollſtändig auszufüllen.

Fig. 495. Fig. 496.

Iſt auf dieſe Weiſe das Gefäß *t* ſammt der Röhre mit Queckſilber gefüllt und der Apparat vollſtändig erkaltet, ſo wird das überflüſſige Queckſilber aus *h* entfernt und dann die Röhre dicht unter dieſem Gefäße vor der Glasbläſerlampe zu einer feinen Spitze ausgezogen.

Alsdann wird die Queckſilbermenge im Thermometer regulirt, d. h. man ſetzt das Gefäß des Thermometers einer Temperatur aus, welche etwas höher iſt als die höchſte Gränze, für welche das Inſtrument gebraucht werden ſoll. Will man z. B. ein Thermometer machen, welches bis zum Siedepunkt des Waſſers geht, ſo ſteckt man es in eine ſiedende geſättigte Löſung von Kochſalz. In Folge der ſteigenden Wärme tritt das Queckſilber tropfenweiſe aus der feinen Spitze der Röhre aus; wenn dieſes Austreten von Queckſilbertröpfchen aufgehört hat, wenn alſo die ganze Queckſilbermaſſe im Gefäß die Temperatur der umgebenden ſiedenden Flüſſigkeit erlangt hat, wird das Rohr durch Zuſchmelzen der feinen Spitze geſchloſſen.

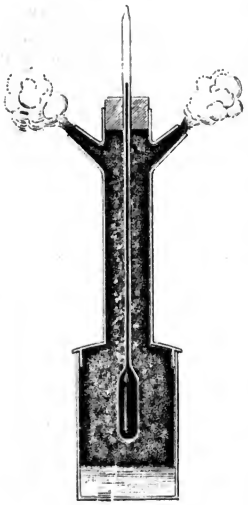
Um das Thermometer zu vollenden, muß es noch graduirt werden, was dadurch geſchieht, daß man zwei fixe Punkte auf der Röhre markirt und

Digitized by Google

den Zwischenraum (den Fundamentalabstand) in gleiche Theile theilt. Für die festen Punkte nimmt man in der Regel den Gefrierpunkt und den Siedepunkt des Wassers. Um den Gefrierpunkt zu bestimmen, steckt man die Thermometerkugel und die Röhre, soweit das Quecksilber in derselben reicht, in ein Gefäß mit fein zerstoßenem Eise oder Schnee, Fig. 497. Wenn die Temperatur der umgebenden Luft höher ist als der Gefrierpunkt, so schmilzt das Eis, und die ganze Masse nimmt die fixe Temperatur des Gefrierpunktes an. Bald nimmt auch das Thermometer diese Temperatur an und bleibt von dem Augenblicke an vollkommen stationär, und man hat nur mit Genauigkeit den Punkt der Röhre zu markiren, wo gerade der Gipfel der Quecksilbersäule steht. Man bezeichnet diesen Punkt zuerst mit Tusch und alsdann mit einem Diamant.

Fig. 497.

Fig. 498.



Um den Siedepunkt zu bestimmen, bringt man das Thermometer in ein Gefäß mit langem Halse, Fig. 498, in welchem man destillirtes Wasser zum Kochen bringt; nachdem es einige Zeit gekocht hat, sind alle Theile des Gefäßes gleichmäßig erwärmt, und der Dampf entweicht durch die Seitenöffnungen; das Thermometer ist alsdann allenthalben von Dampf umgeben, dessen Temperatur dieselbe ist wie die der obersten Wasserschicht. Das Quecksilber steigt bald bis zu einem Punkte, auf dem es fest stehen bleibt und den es nicht überschreitet. Man bezeichnet diesen Punkt wie den Gefrierpunkt.

Der Zwischenraum zwischen dem Gefrierpunkte und dem Siedepunkte heißt der Fundamentalabstand. Beim Réaumur'schen Thermometer wird der Fundamentalabstand in 80 gleiche Theile getheilt.

Der Gefrierpunkt ist der Nullpunkt der Scala, welche in gleicher Weise, wie oberhalb, auch unterhalb des Nullpunktes fortgesetzt wird. Die Grade unter 0 werden durch — bezeichnet.

Man kann Quecksilberthermometer construiren, welche bis zu 270° R. gehen; weiter aber kann man nicht gehen, weil man sonst dem Siedepunkte des

Digitized by Google

Quecksilbers (320°) zu nahe kommt. Unter Null sind die Angaben des Quecksilberthermometers richtig bis gegen — 26°. Bei noch geringerer Temperatur kommt man dem Gefrierpunkte des Quecksilbers (— 32°) zu nahe. In der Nähe der Temperaturen nämlich, bei welchen die Körper ihren Aggregatzustand ändern, ist ihre Ausdehnung nicht mehr regelmäßig.

Nicht bei allen Thermometern ist der Fundamentalabstand in 80 Grade getheilt. In Deutschland und Frankreich ist das Réaumur'sche Thermometer noch sehr verbreitet, obgleich man sich bei wissenschaftlichen Untersuchungen jetzt fast ausschließlich des von Celsius zuerst angegebenen hunderttheiligen Thermometers bedient, bei welchem der Fundamentalabstand in 100 gleiche Theile getheilt ist. Es ist jedoch leicht, Celsius'sche Grade auf Réaumur'sche zu reduciren, und umgekehrt; denn da

$$100^0\ \text{C.} = 80^0\ \text{R.},$$

so ist

$$1^0\ \text{C.} = 0{,}8^0\ \text{R.}$$

und

$$1^0\ \text{R.} = 1{,}25^0\ \text{C.}$$

Es sind demnach x^0 C. $= x \,.\, 0{,}8^0$ R. und n^0 R. $= n \,.\, 1{,}25^0$ C. Man kann dies in Worten so ausdrücken: Um Réaumur'sche Grade in Celsius'sche zu verwandeln, multiplicirt man die Zahl der Réaumur'schen Grade mit 1,25 oder mit $^5/_4$. Will man umgekehrt Celsius'sche Grade in Réaumur'sche verwandeln, so multiplicirt man die gegebene Gradzahl mit 0,8 oder, was dasselbe ist, mit $^4/_5$.

In England bedient man sich ausschließlich der Fahrenheit'schen Scala, deren Nullpunkt nicht mit dem der beiden eben erwähnten zusammenfällt. Der Nullpunkt des Fahrenheit'schen Thermometers trifft mit dem Theilstriche — $17^7/_9$ der Celsius'schen Scala zusammen. Der Schmelzpunkt des Eises ist auf derselben mit 32, der Siedepunkt des Wassers mit 212 bezeichnet, so daß also der Zwischenraum zwischen dem Gefrierpunkte und dem Siedepunkte des Wassers hier in 180 Grade getheilt ist. Es sind also dem absoluten Werthe nach

$$180^0\ \text{F.} = 100^0\ \text{C.},$$

mithin

$$1^0\ \text{F.} = {}^5{}_9{}^0\ \text{C.}$$

und

$$1^0\ \text{C.} = {}^9{}_5{}^0\ \text{F.}$$

Um jedoch die Angaben des einen dieser Thermometer auf die des anderen zu reduciren, hat man noch zu berücksichtigen, daß die Nullpunkte derselben nicht zusammenfallen. Will man Fahrenheit'sche Grade in Celsius'sche verwandeln, so hat man von der gegebenen Gradzahl 32 abzuziehen und den Rest mit $^5/_9$ zu multipliciren. Es sind demnach

$$x^0\ \text{F.} = (x - 32)\ {}^5/_9{}^0\ \text{C.}$$

Digitized by Google

Will man Celsius'sche Grade in Fahrenheit'sche verwandeln, so multiplicirt man mit $^9/_5$ und addirt zum Product 32. Es sind demnach

$$y^0 \text{ C.} = (y \,.\, ^9/_5 + 32)^0 \text{ F.}$$

Zur leichteren Vergleichung der verschiedenen Scalen mag folgende Tabelle dienen.

Celsius.	Réaumur.	Fahrenheit.
− 20	− 16	− 4
− 10	− 8	+ 14
0	0	32
+ 10	+ 8	50
20	16	68
30	24	86
40	32	104
50	40	122
60	48	140
70	56	158
80	64	176
90	72	194
100	80	212

Außer dem Quecksilber, welches sich wegen seines niedrigen Gefrierpunktes und seines hohen Siedepunktes ganz besonders als thermometrische Flüssigkeit eignet, hat man auch noch gefärbten Weingeist zur Construction von Thermometern benutzt, welche namentlich zur Messung sehr niedriger Temperaturen geeignet sind. Das Wasser kann nicht als thermometrische Flüssigkeit benutzt werden, weil sein Gefrierpunkt zu hoch ist und weil, wie wir in §. 244 sehen werden, seine Ausdehnung höchst ungleichförmig ist.

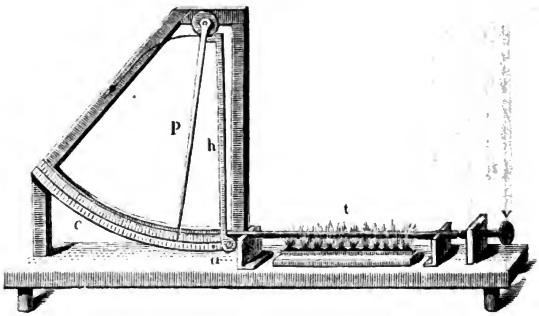
Ausdehnung fester Körper. Weil die Ausdehnung fester Kör- 242
per durch die Wärme sehr gering ist, so muß man auf Mittel sinnen, durch welche sie dem Auge vergrößert wird. Dies geschieht z. B. beim Hebelpyrometer, Fig. 499 (a. f. S.). Die Stange t, deren Ausdehnung man beobachten will, steht mit ihrem einen Ende gegen die feste Schraube v an; das andere Ende des Stabes steht aber an einem Hebel h und zwar nahe an seinen Drehpunkt an, so daß das obere Ende dieses Hebels h schon einen ziemlich bedeutenden Weg zurücklegt, wenn sich die Stange t auch nur wenig ausdehnt. Die Bewegung des oberen Endes von h wird aber in gleicher Weise noch einmal durch den Hebel p vergrößert, dessen freies Ende sich an einem Gradbogen $c\,a$ hin bewegt.

Digitized by Google

Wenn sich beim Erkalten die Stange *t* wieder zusammenzieht, so werden die Hebel durch eine schwache Feder wieder zurückgedrückt.

Mit Hülfe von Apparaten, welche im Wesentlichen auf dem eben angedeuteten Principe beruhen, wurde die Ausdehnung vieler Körper ermittelt; es folgen hier nur einige der wichtigsten.

Fig. 499.



Für eine Temperaturerhöhung von 0 bis 100° C. dehnt sich aus:

Platin	um 0,00086	oder	$^1/_{1167}$
Glas	„ 0,00087	„	$^1/_{1147}$
Stahl, gehärtet	„ 0,00126	„	$^1/_{807}$
Eisen	„ 0,00122	„	$^1/_{819}$
Kupfer	„ 0,00171	„	$^1/_{584}$
Messing	„ 0,00188	„	$^1/_{531}$
Blei	„ 0,00285	„	$^1/_{351}$
Zink	„ 0,00294	„	$^1/_{340}$

seiner Länge. Ein Stahlstab also, welcher bei 0° eine Länge von 807 Linien hat, wird bei 100° eine Länge von 808 Linien haben; ein Zinkstab von nur 340 Linien Länge wird sich aber bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 100° ebenfalls schon um 1 Linie ausdehnen. Unter allen oben angeführten Körpern dehnt sich Platin am wenigsten, Zink am stärksten aus.

Zwischen 0 und 100° dehnen sich fast alle festen Körper gleichmäßig aus, d. h. ihre Ausdehnung ist der Temperaturerhöhung proportional. Bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 10° dehnt sich also das Kupfer um 0,000171, bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 1° dehnt es sich um 0,0000171 seiner Länge aus.

Die Zahl, welche ausdrückt, um den wievielsten Theil seiner Länge bei 0° sich ein fester Körper bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 1° ausdehnt, heißt der Coefficient der Längenausdehnung. Man hat nur die in der obigen Tabelle enthaltenen Zahlen durch 100 zu dividiren, um den Coefficienten der Längenausdehnung für Platin, Glas, Stahl u. s. w. zu erhalten.

Digitized by Google

Bezeichnen wir die Länge eines Körpers bei 0° C. mit L, den Ausdehnungscoefficienten der Substanz, aus welcher er besteht, mit a, so haben wir für die Länge L_t, welche er bei t° Celsius einnehmen wird:

$$L_t = L_o\,(1 + at).$$

Fig. 500.

Mannigfache praktische Anwendungen, welche man von der Ausdehnung fester Körper durch die Wärme macht, wollen wir hier bloß andeuten.

Da alle Körper sich durch die Wärme ausdehnen, so wird ein aus einer einfachen Stange gebildetes Pendel bei höherer Temperatur länger sein als bei niedriger, es wird im Sommer langsamer schwingen als im Winter, und wenn ein solches Pendel zur Regulirung einer Uhr angewandt wird, so ist der Gang der Uhr von der Temperatur abhängig. Bei den Compensationspendeln ist dieser nachtheilige Einfluß der Ausdehnung vermieden. Fig. 500 stellt ein Compensationspendel dar. Es ist aus drei Eisenstäben, nämlich den beiden Stäben R und dem Stabe S, ferner aus zwei Zinkstäben T zusammengesetzt. Die Gesammtlänge des Pendels ist offenbar

$$L = R + S - T.$$

Bei einer Temperaturerhöhung von t Graden wird die Länge des Pendels:

$$L_t = (R + S)\,(1 + 0{,}0000122\,t) - T\,(1 + 0{,}0000294\,t).$$

Es ist aber $L = L_t$, wenn

$$(R + S)\,0{,}0000122\,t = T\,.\,0{,}0000294\,t,$$

wenn also

$$R + S = \frac{294}{122}\,T,$$

d. h. wenn die Länge des Eisenstabes S und eines der Eisenstäbe R zusammen sich zu der Länge eines der Zinkstäbe T umgekehrt verhält wie der Ausdehnungscoefficient des Eisens zu dem des Zinks.

Compensationspendel aus Eisen- und Messingstäben sind complicirter; sie bestehen aus 5 Eisen- und 4 Messingstäben.

Wenn ein Körper durch Erwärmung ausgedehnt wird, so findet dies mit großer Kraft Statt, d. h. es können sehr bedeutende Hindernisse, welche der Ausdehnung entgegenstehen, überwunden werden. Ebenso zieht sich ein Körper beim Erkalten mit großer Kraft zusammen. Legt man einen heißen eisernen Reif um

Digitized by Google

ein Rad, so daß er eben paßt, so wird nach der Erkaltung der Reif das Rad so fest zusammenhalten, wie man es auf keine andere Weise zu erreichen im Stande wäre.

243 **Die cubische Ausdehnung** ist die Vergrößerung, welche das Volumen eines Körpers durch die Temperaturerhöhung erleidet. Auch hier wird das Volumen des Körpers bei 0^0 zum Ausgangspunkte genommen, und unter dem Ausdehnungscoefficienten versteht man hier die Zahl, welche angiebt, um den wievielsten Theil seines ursprünglichen Volumens bei 0^0 sich ein Körper ausdehnt, wenn man ihn um 1^0 erwärmt. Wenn man sagt, der Ausdehnungscoefficient des Quecksilbers sei 0,00018, so heißt das, das Quecksilber dehnt sich bei einer Temperaturerhöhung von 1^0 um $^{18}/_{100000}$ seines Volumens bei 0^0 aus. Kennt man den Ausdehnungscoefficienten und das Volumen eines Körpers bei 0^0, so kann man sein Volumen für eine beliebige Temperatur berechnen, vorausgesetzt, daß die Ausdehnung des Körpers bis zu dieser Temperatur regelmäßig ist.

Bei tropfbar-flüssigen und gasförmigen Körpern wird durch den Versuch unmittelbar die körperliche Ausdehnung bestimmt, während bei festen Körpern die körperliche Ausdehnung aus der beobachteten linearen berechnet werden muß.

Der Ausdehnungscoefficient für die körperliche Ausdehnung fester Körper ist dreimal so groß als der Ausdehnungscoefficient für lineare Ausdehnung.

Man kann sich davon durch folgende Schlußweise überzeugen. Es sei l die Seite eines Würfels bei 0^0, so ist l^3 das Volumen desselben, welches wir mit v bezeichnen wollen; wenn nun der Würfel bis auf 100^0 erwärmt wird, so ist jede Seite $l\ (1 + a)$, wenn a den 100fachen Werth des Coefficienten für die Längenausdehnung bezeichnet, mithin ist jetzt der Inhalt des Würfels:

$$v' = l^3\ (1 + a)^3 = l^3\ (1 + 3\ a + 3\ a^2 + a^3).$$

Da aber a eine sehr kleine Größe ist, so kann man die höheren Potenzen derselben vernachlässigen, und der Werth von v' reducirt sich demnach auf

$$v' = l^3\ (1 + 3\ a) = v\ (1 + 3\ a).$$

Bei einer Temperaturerhöhung von 100^0 ist also das Volumen v um $3\,a\,v$ gewachsen, der Ausdehnungscoefficient für das Volumen ist also $\frac{3a}{100}$, während $\frac{a}{100}$ der Längenausdehnungscoefficient ist.

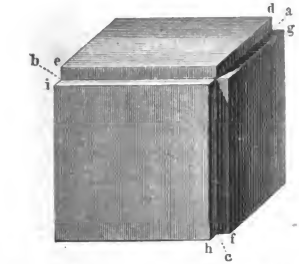
Wir wollen versuchen, dies noch auf geometrischem Wege anschaulich zu machen.

Es sei $a\,b\,c$, Fig. 501, ein aus irgend einem festen Körper gebildeter Würfel bei 0^0. Wenn nun dieser Würfel bei einer Temperaturerhöhung von 100^0 sich nur nach oben ausdehnte, so würde sein Volumen um die quadratische Platte $a\,d\,e\,b$ zunehmen, deren Inhalt $v\,a$ ist, wenn v das Volumen des ursprünglichen Würfels ist und a die obige Bedeutung hat. Wenn sich der Würfel nur nach der rechten Seite hin ausdehnte, so würde er hier um eine eben so große Platte $a\,g\,f\,c$ wachsen; und eine dritte Platte $c\,h\,i\,b$ endlich, deren Inhalt gleichfalls $a\,v$ ist, wird das Resultat der Ausdehnung des Körpers nach vorn sein. Der cubische Inhalt dieser drei Platten zusammen

Digitized by Google

ist also $3\,av$. Zur Vollendung des durch die Wärme vergrößerten Würfels müßte freilich noch der Inhalt der Ecken hinzuaddirt werden, welche da einzupassen sind, wo je zwei der eben betrachteten Platten mit einer Kante zusammentreffen; allein die Größe derselben ist so unbedeutend, daß sie vernachlässigt werden kann, da ja die Größe der linearen Ausdehnung bi sehr klein ist im Vergleich zu der Länge der Seiten des ursprünglichen Würfels, und man kann also $3\,av$ ohne merklichen Fehler für die ganze Zunahme des Volumens annehmen.

Fig. 501.



Der Coefficient für die Längenausdehnung des Glases z. B. ist 0,0000087, bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 100° wird demnach eine Glasmasse um $3 \,.\, 0{,}00087 = 0{,}00261$ ihres Volumens zunehmen; dasselbe gilt natürlich auch vom Inhalte eines Glasgefäßes. Wenn ein Glasgefäß bei 0° gerade 1000 Cubikcentimeter faßt, so wird sein Inhalt bei 100° bis auf 1002,61 Cubikcentimeter gewachsen sein.

Ausdehnung der Flüssigkeiten. Um die Ausdehnung verschiedener flüssiger Körper zu bestimmen, kann man den Apparat Fig. 502 anwenden. Der Hals dieses Glasgefäßes von 3 bis 4^{cm} Durchmesser ist an einer Stelle ganz eng ausgezogen, so daß sich über der engen Stelle gewissermaßen ein Trichter befindet. Die engste Stelle des Halses a ist auf irgend eine Weise markirt. Man füllt nun die Kugel mit der zu untersuchenden Flüssigkeit, so daß sie noch über a hinaus im Trichter steht, und erkaltet das Ganze bis auf 0°, indem man den ganzen Apparat mit schmelzendem Schnee oder schmelzendem Eise umgiebt. Ist Alles bis auf 0° erkaltet, so entfernt man alle Flüssigkeit, welche noch über der Marke steht. Wenn man die so gefüllte Kugel wägt und vom gefundenen Gewichte das des Glasgefäßes abzieht, so erhält man das Gewicht der Flüssigkeit, welche bei 0° in die Kugel geht. Sobald man die Kugel erwärmt, dehnt sich die Flüssigkeit aus, sie steigt über die Marke a in den Trichter. Wenn man bis zu einer bestimmten Temperatur, etwa bis auf 100°, erwärmt hat, nimmt man alle über a stehende Flüssigkeit wieder weg und wägt dann von Neuem. Nach den beiden Wägungen läßt sich dann leicht die scheinbare Ausdehnung berechnen. 244

Fig. 502.

Die auf diese Weise bestimmte Ausdehnung ist nur die *scheinbare*; die wahre Ausdehnung der Flüssigkeit findet man erst, wenn man zu der scheinbaren Ausdehnung noch die Vergrößerung des Inhalts des Glasgefäßes durch die Wärme addirt.

Digitized by Google

Bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 100° dehnen sich aus:

Quecksilber	um 0,018
Wasser	„ 0,045
Weingeist	„ 0,100
Oel	„ 0 100

ihres Volumens bei 0°. Bei Weingeist und Oel ist also die Ausdehnung durch die Wärme sehr bedeutend, so daß im Handel auf diesen Umstand wohl Rücksicht genommen werden muß.

Die meisten Flüssigkeiten dehnen sich zwischen 0 und 100° nicht regelmäßig aus. Am besten läßt sich dies zeigen, wenn man Thermometer von verschiedenen Flüssigkeiten construirt und ihren Gang mit einem Quecksilberthermometer vergleicht. Wenn man z. B. ein Wasserthermometer, welches längere Zeit einer Temperatur von 0° ausgesetzt war, erwärmt, so steigt es nicht gleich, sondern es sinkt und beginnt erst wieder zu steigen, wenn die Temperatur über $5^3/_4$° gestiegen ist. Bringt man die Ausdehnung des Glases in Rechnung, so ergiebt sich daraus, daß das Wasser bei 4° ein Dichtigkeitsmaximum hat, d. h. bei 4° ist das Wasser dichter als bei jeder anderen Temperatur. Wasser von 4° wird sich ausdehnen, mag man es nun erwärmen oder erkalten. (S. Supplementband §. 105 S. 239.)

Auch der Weingeist dehnt sich nicht ganz regelmäßig aus, weshalb ein Weingeistthermometer nicht bei allen Temperaturen mit einem Quecksilberthermometer harmoniren kann.

245 **Ausdehnung der Gase.** Die Gase dehnen sich durch Erwärmung weit stärker aus als die festen und flüssigen Körper, auch ist der Ausdehnungscoefficient für alle Gase fast genau derselbe, und endlich dehnen sich die Gase stets der Temperaturerhöhung proportional aus.

Zur Bestimmung des Ausdehnungscoefficienten der Gase hat man verschiedene Methoden angewandt, unter denen wohl folgende die einfachste ist. Eine Glaskugel ist, wie man Fig. 503 sieht, am Ende einer dünnen Glasröhre angeblasen; das andere Ende dieser Glasröhre ist in eine feine Spitze ausgezogen. Wenn man nun die Kugel in kochendes Wasser taucht, so natürlich, daß die Spitze ziemlich weit herausragt, so wird sich die Luft in derselben bald bis 100° erwärmen und in Folge dieser Erwärmung zum Theil aus der Kugel austreten. Nun wird die Spitze vor einer Weingeistlampe zugeschmolzen, und man läßt die Kugel allmälig erkalten; wenn sie ganz kalt geworden ist, kehrt man die Kugel um, steckt die Spitze in Quecksilber und bricht sie ab; nun wird natürlich das Quecksilber in die Kugel eindringen, weil ja die Luft in derselben durch die frühere Erwärmung verdünnt ist.

Fig. 503.

Wenn man die Kugel durch angelegten schmelzenden Schnee bis auf 0° erkaltet, so wird das eingedrungene Queck-

Digitized by Google

silber genau den Raum ausfüllen, um welchen sich die in der Kugel zurückgebliebene Luft bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 100° ausdehnt. Bestimmt man die Menge des eingedrungenen Quecksilbers durch Wägung, und ermittelt man alsdann das Gewicht der Quecksilbermenge, welche die ganze Kugel zu fassen vermag, so kann man danach den Ausdehnungscoefficienten der Luft berechnen.

Als Resultat der genauesten Versuche, welche nach dieser und nach anderen Methoden angestellt worden sind, ergiebt sich, daß die Ausdehnung der trocknen atmosphärischen Luft bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 100° C. 0,365 des Volumens bei 0° beträgt. Für eine Temperaturerhöhung von 1° C. ist also der Ausdehnungscoefficient der Luft 0,00365. Bezeichnen wir also mit V_o das Volumen einer gegebenen Luftmasse bei 0°, mit V_t das Volumen, welches dieselbe Luftmasse bei $t°$ C. einnimmt, so haben wir also

$$V_t = V_o\,(1 + 0{,}00365\,t) \quad \ldots\ldots\ldots 1)$$

Das specifische Gewicht der Luft ist ihrem Volumen umgekehrt proportional. Bezeichnen wir also das specifische Gewicht der Luft bei 0° und $t°$ mit d_o und d_t, so ist

$$d_t = \frac{d_o}{1 + 0{,}00365\,t} \quad \ldots\ldots\ldots 2)$$

Näheres darüber in §. 18 des Supplementbandes (Seite 18).

In Folge ihres geringeren specifischen Gewichtes wird die erwärmte Luft aufsteigen, während die kältere zu Boden sinkt. In einem geheizten Zimmer steigt die warme Luft an die Decke, oben entströmt dem Zimmer aus allen Ritzen und Fugen die warme Luft, während unten kalte einströmt.

Wenn man im Winter die in einen kalten Raum führende Thür eines geheizten Zimmers etwas öffnet und eine brennende Kerze an das obere Ende des Spaltes hält, wie man Fig. 504 sieht, so zeigt die nach außen gerichtete Flamme einen von dem warmen Zimmer nach dem kalten Raume gerichteten Luftstrom an. Rückt man nun mit der Kerze mehr und mehr herunter, so stellt sich die Flamme immer mehr und mehr aufrecht, ungefähr in der halben Höhe der Oeffnung steht sie ganz still, sie ist hier nicht durch Luftströmung afficirt; bringt man sie aber noch weiter herunter, so wird die Flamme von außen nach innen getrieben. Man sieht also, daß die erwärmte Luft oben aus- und daß dagegen unten die kalte Luft in das Zimmer einströmt.

Fig. 504.

Daher kommt es, daß es am Boden eines geheizten Zimmers weit kälter ist als an der Decke, daß sich hohe Zimmer schwerer heizen als niedrige u. s. w.

In einem Schornsteine wird die Luft durch das Feuer erwärmt, die erhitzte Luft steigt

Digitized by Google

in die Höhe, und von unten her dringt kalte Luft ein, welche, durch das Feuer streichend, diesem stets Sauerstoff zuführt. Der durch den Schornstein bewirkte Luftzug bringt also die zur Unterhaltung lebhafter Verbrennung nöthige Luftmenge in den Feuerraum. Es versteht sich von selbst, daß zwischen der Größe des Feuerraumes und der Höhe und Weite des Schornsteins die richtigen Verhältnisse stattfinden müssen, wenn der Schornstein seinen Zweck möglichst vollständig erfüllen soll.

Auch bei Lampen hat der gläserne Schornstein den Zweck, einen Luftzug zu unterhalten, welcher der Flamme die zur lebhaften Verbrennung nöthige Sauerstoffmenge zuführt.

Digitized by Google

Zweites Capitel.

Veränderung des Aggregatzustandes.

Das Schmelzen. Eine Menge von festen Körpern wird durch die Wärme geschmolzen, d. h. aus dem festen Zustande in den flüssigen übergeführt. 246

Da die Wärme alle Körper durchdringt und ausdehnt, so liegt die Frage nahe, ob sie auch alle festen Körper schmelzen kann. In dieser Beziehung findet man große Unterschiede unter den Körpern; einige sind leicht schmelzbar und gehen schon bei niedrigen Temperaturen in den flüssigen Zustand über, z. B. Eis, Phosphor, Schwefel, Wachs, Fett u. s. w.; andere bedürfen zum Schmelzen schon höherer Temperaturen, wie Zinn, Blei u. s. w.; endlich giebt es Körper, welche erst bei sehr hohen Temperaturen schmelzen, wie Eisen, Platin. Die Kohle zu schmelzen, ist bis jetzt noch nicht gelungen, wenngleich mehrere Physiker behaupten, an den Kanten von Diamanten, die sie dem Versuche unterworfen hatten, Spuren von Schmelzung bemerkt zu haben. Bei hinreichender Temperaturerhöhung sind wohl alle Körper schmelzbar, welche nicht schon vorher durch den Einfluß der Wärme eine chemische Zersetzung erleiden, wie dies bei den meisten organischen Körpern der Fall ist.

Jede Substanz, wenn sie überhaupt schmelzbar ist, hat einen festen Schmelzpunkt, d. h. das Schmelzen einer und derselben Substanz findet stets bei derselben Temperatur Statt; dagegen weichen die Schmelzpunkte verschiedener Substanzen sehr von einander ab, wie die folgende Tabelle zeigt:

Schmiedeeisen	schmilzt bei	1500	bis	1600°	C.
Stahl	„ „	1300	„	1400	„
Gußeisen	„ „	1050	„	1200	„
Gold	„ „			1250	„
Silber	„ „			1000	„
Bronze	„ „			900	„
Antimon	„ „			432	„
Zink	„ „			360	„
Blei	„ „			334	„
Kadmium	„ „			321	„
Wismuth	„ „			256	„

Digitized by Google

Zinn	schmilzt bei	230°	C.
Legirung aus 5 Thln. Zinn, 1 Thl. Blei	„ „	194	„
Schwefel	„ „	109	„
Legirung aus 4 Thln. Wismuth, 1 Thl. Blei, 1 Thl. Zinn (Rose'sches Metall)	„ „	94	„
Legirung aus 4 Thln. Wismuth, 2 Thln. Blei, 1 Thl. Zinn, 1 Thl Kadmium (Wood's Metall)	„ „	71	„
Natrium	„ „	90	„
Kalium	„ „	58	„
Phosphor	„ „	43	„
Stearinsäure	„ „	70	„
Weißes Wachs	„ „	68	„
Stearin	„ „	49 bis 43	„
Eis	„ „	0	„
Terpentinöl	„ „	— 10	„
Quecksilber	„ „	— 39	„

Die aufmerksame Betrachtung dieser Tabelle zeigt, daß die Legirungen meist einen tieferen Schmelzpunkt haben als die einzelnen Metalle, aus denen sie zusammengesetzt sind; darauf beruht auch die Anwendung des Schnellothes der Blechner, welches eine Legirung von Blei und Zinn ist. Besonders interessant sind in dieser Beziehung die in obiger Tabelle angeführte Rose'sche und Wood'sche Metalllegirung.

247 **Gebundene Wärme.** Es ist eine bedeutende Menge Wärme nöthig, um Eis oder Schnee von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln. Diese Wärme ist in dem Wasser gebunden, latent, sie ist für das Gefühl und das Thermometer gleichsam verschwunden.

Wenn 1 Pfund Wasser von 79° mit 1 Pfund Schnee von 0° gemischt wird, so erhält man 2 Pfund Wasser von 0°. Alle Wärme also, welche in dem heißen Wasser enthalten war, ist für das Thermometer spurlos verschwunden; sie ist lediglich dazu verwandt worden, um Schnee von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln.

Nehmen wir als Einheit der Wärmemengen dasjenige Wärmequantum an, welches erforderlich ist, um die Temperatur von 1 Gramm Wasser um 1° C. zu erhöhen, so sind also 79 solche Wärmeeinheiten nöthig um 1 Gramm Schnee oder Eis von 0° zu schmelzen, oder mit anderen Worten: bei der Schmelzung von 1 Gramm Schnee oder Eis werden 79 Wärmeeinheiten latent oder gebunden. Die latente Wärme des Wassers ist 79.

Die oben definirte Wärmeeinheit (Calorie) wird auch in anderen Fällen zur Messung der Wärmemengen in Anwendung gebracht.

Diese Wärmemenge, welche beim Schmelzen des Schnees oder des Eises gebunden wird, wird also lediglich dazu verwandt, die Cohäsion zwischen den Eismolekülen so weit zu überwinden, daß sie mit der größten Leichtigkeit an

Digitized by Google

einander verschoben werden können, daß also die Masse flüssig wird. Die in dem Wasser enthaltene latente Wärme hat also nur die Function, den flüssigen Zustand zu erhalten, und kann deshalb, auf diese Weise gleichsam beschäftigt, keine anderweitigen Wirkungen hervorbringen, sie scheint deshalb auch für das Thermometer verschwunden.

So wie bei der Schmelzung des Eises und des Schnees Wärme gebunden wird, so ist dies auch beim Schmelzen anderer Körper der Fall. Folgendes sind die Werthe der latenten Wärme für einige Körper nach Irvine's Bestimmungen:

Schwefel	80
Blei	90
Wachs	97
Zink	274
Zinn	278
Wismuth	305.

Die Bedeutung dieser Zahlen ist leicht einzusehen; während ein Gramm Schnee zu seiner Schmelzung 79 Wärmeeinheiten, d. h. 79mal so viel Wärme nöthig hat, als erforderlich ist, um die Temperatur von einem Gramm Wasser um 1° zu erhöhen, sind zur Schmelzung von einem Gramm Schwefel 80, zur Schmelzung von einem Gramm Blei, Wachs, Zink u. s. w. 90, 97, 274 solcher Wärmeeinheiten (Calorieen) nöthig.

Es giebt zweierlei Wege, auf denen man einen festen Körper in flüssigen Zustand versetzen kann: 1) durch Schmelzung, indem man ihm von außen her so viel Wärme zuführt, als er aufnehmen muß, um in den flüssigen Zustand überzugehen; oder 2) durch Auflösung, d. h. im Allgemeinen dadurch, daß man ihn mit irgend einem anderen Stoffe zusammenbringt, mit welchem er ein flüssiges Gemenge bildet.

Wenn ein Körper durch Auflösung in den flüssigen Zustand übergeführt wird, so findet dabei ebenso eine Bindung von Wärme Statt, wie beim Schmelzen, und wenn also von außen her keine Wärme zugeführt wird, so kann die Wärmebindung offenbar nur auf Kosten der Temperatur des aufzulösenden Körpers und des Lösungsmittels stattfinden, d. h. um den festen Körper in flüssigen Zustand überzuführen, wird ein Theil der bis dahin fühlbaren Wärme verwendet werden, die Temperatur der Lösung wird also niedriger sein.

Löst man z. B. möglichst rasch 1 Pfund salpetersaures Ammoniak von 0° in 1 Pfund Wasser von 0°, so kann die bei der Auflösung des Salzes zu bindende Wärme nur aus der fühlbaren Wärme des Wassers und des Salzes selbst genommen werden, und deshalb sinkt die Temperatur der Lösung, und zwar auf 8 bis 10 Grad unter Null.

Auf diesem Principe beruhen die sogenannten Kältemischungen. Besonders stark ist die Temperaturerniedrigung, wenn zwei feste Körper sich bei ihrer Mischung zu einer Flüssigkeit verbinden. So sinkt z. B., wenn man 1 Pfund Kochsalz von 0° mit 3 Pfund Schnee (oder feingestoßenem Eis)

Digitized by Google

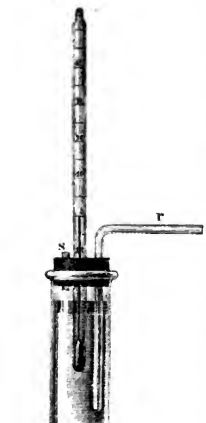
mengt, die Temperatur auf — 17,7° C., den Nullpunkt des Fahrenheit'schen Thermometers.

248 **Das Erstarren.** Die normale Erstarrungstemperatur eines Körpers fällt mit seinem Schmelzpunkt zusammen. Schnee von 0° schmilzt und liefert Wasser von 0°, wenn ihm noch Wärme zugeführt, und Wasser, welches bis auf 0° erkaltet ist, erstarrt bei dieser Temperatur, wenn ihm Wärme entzogen wird. — Das Schmelzen des festen Zinns findet ebenso wie das Erstarren des flüssigen bei 230° C. statt.

Beim Erstarren eines flüssigen Körpers muß alle Wärme wieder frei werden, welche bei seinem Schmelzen gebunden wurde. Wenn das Erstarren einer Flüssigkeit bei der normalen Erstarrungstemperatur vor sich geht, so läßt sich die freiwerdende Wärme nicht leicht nachweisen, weil das Festwerden ganz allmälig geschieht, weil also das Freiwerden einer bestimmten Wärmemenge sich auf eine so große Zeit vertheilt, daß sie sich in die Umgebung verliert, ohne eine merkliche Temperaturerhöhung hervorbringen zu können. Die Wärme, welche beim Erstarren einiger Partikelchen frei wird, reicht eben nur hin, die benachbarten noch einige Zeit vor dem Erstarren zu schützen.

Unter verschiedenen Umständen, namentlich aber wenn die erkaltende Flüssigkeit vollkommen ruhig steht, kommt es vor, daß sie weit unter die normale Erstarrungstemperatur erkaltet, ohne fest zu werden. Wird dann durch irgend einen Anstoß das Erstarren eingeleitet, so findet es auf einmal massenhaft statt und dabei steigt die Temperatur bis zum normalen Erstarrungspunkt. —

Fig. 505.



So hat Fahrenheit bereits im Jahre 1714 die Beobachtung gemacht, daß ganz ruhig stehendes Wasser oft bis auf 10° unter Null erkaltet, ohne fest zu werden, daß aber alsdann bei dem geringen Anstoß eine massenhafte Eisbildung stattfindet, wobei dann das Thermometer wieder auf 0° steigt.

Man kann diese Erscheinung mit Hülfe der in Fig. 505 abgebildeten Vorrichtung beobachten. Ein Glascylinder ist zum Theil mit Wasser gefüllt und auf dasselbe ist eine 1 bis 2 Linien hohe Schicht von Oel gegossen. Der Kork, welcher den Glascylinder oben schließt, ist mit drei Oeffnungen versehen; in der einen steckt ein Thermometer, dessen Gefäß bis in das Wasser hinabreicht. In der zweiten steckt ein gebogenes Glasrohr *r*, welches im Cylinder ungefähr 1 Zoll über dem Boden mündet. Durch die dritte Oeffnung, deren Stelle in unserer Figur durch ein kurzes darin steckendes Glasröhrchen *s* bezeichnet ist, steht die Luft im oberen Theil des Cylinders mit der äußeren in Verbindung.

Digitized by Google

Dieser Apparat wird nun in ein weiteres Gefäß gestellt und mit Schnee umgeben, bis die Temperatur des Wassers im Innern ungefähr auf 0° gesunken ist. Alsdann wird der Schnee vorsichtig entfernt und unter Vermeidung jeder Erschütterung durch eine Kältemischung von — 6 bis — 7° C. ersetzt. Wenn in Folge dessen die Temperatur des Wassers auf — 3 bis — 4° C. gesunken ist, kann man das Erstarren desselben dadurch einleiten, daß man durch das Rohr *r* etwas Luft einbläst. Augenblicklich bilden sich durch die ganze Wassermasse hindurch zahllose feine Eisblättchen und das Thermometer steigt plötzlich wieder auf 0°.

Unterschwefligsaures Natron schmilzt bei 45° C.; läßt man die geschmolzene Masse ruhig stehen, so sinkt ihre Temperatur allmälig auf die der Umgebung, ohne daß sie fest wird; wird aber durch Erschütterung das verzögerte Erstarren eingeleitet, so steigt augenblicklich ihre Temperatur um 18 bis 20°. Aehnliche Beobachtungen kann man mit einer bei höherer Temperatur gesättigten Lösung von Glaubersalz machen.

So oft ein flüssiger Körper mit einem festen eine feste Verbindung eingeht, wird gleichfalls Wärme frei. So verbindet sich der gebrannte Gyps, der gebrannte Kalk mit Wasser zu festen Körpern, welche die Chemiker Hydrate nennen. Die Bildung solcher Hydrate ist meist von einer bedeutenden Wärmeentwickelung begleitet, welche zum großen Theil daher rührt, daß das Wasser, indem es seine Flüssigkeit verliert, seine latente Wärme abgiebt.

Dampfbildung. Wenn eine Flüssigkeit mit der Luft in Berührung **249** ist, so nimmt ihre Menge mehr und mehr ab, und nach kürzerer oder längerer Zeit verschwindet sie vollständig. Das Wasser, welches nach einem Regen den Boden bedeckt, widersteht nicht dem Wehen eines trockenen Windes und der Einwirkung des Sonnenscheins, es verschwindet, nicht allein weil es in den Boden einsickert, sondern auch weil es in der Luft verdunstet.

Das Phänomen der Verdunstung geht rascher vor sich, wenn man eine Schale mit Wasser über Feuer zum Kochen bringt; in kurzer Zeit ist alles Wasser verschwunden, und doch ist es nicht vom Gefäße verschluckt worden. Es geht daraus hervor, daß die Flüssigkeiten ihren Aggregatzustand ändern, daß sie unsichtbar und expansibel werden wie die Gase. Mit dem Namen Dampf bezeichnet man eine in gasförmigen Zustand übergegangene Flüssigkeit.

Man war lange Zeit der irrigen Meinung, daß die Dämpfe für sich selbst nicht bestehen könnten; man glaubte, sie seien ganz in derselben Weise in der Luft aufgelöst wie die Salze im Wasser; um eine Flüssigkeit gasförmig zu machen, bedürfe es ebenso eines Auflösungsmittels, der Luft, wie ein Lösungsmittel, etwa Wasser, nöthig ist, um die festen Salze flüssig zu machen. Um die Unrichtigkeit dieser Meinung darzuthun und zugleich die wahren Gesetze der Dampfbildung zu studiren, muß man machen, daß die Dampfbildung im luftleeren Raume vor sich geht. Dazu eignet sich nun die Toricelli'sche Leere ganz vorzüglich, nicht allein weil man es mit einem vollkommen luftleeren Raume

Digitized by Google

zu thun hat, sondern auch weil die Depression der beweglichen Quecksilbersäule ein Mittel bietet, die Expansivkraft der Dämpfe zu messen.

Fig. 506.

Nehmen wir an, man habe in einem weiteren, mit Quecksilber gefüllten Gefäße vv' (Fig. 506) drei Toricelli'sche Röhren neben einander gestellt, so wird in allen das Quecksilber gleich hoch stehen; wenn man aber mit Hülfe einer gekrümmten Pipette etwas Aether in die eine Röhre b'' bringt, so steigt er alsbald bis zur Toricelli'schen Leere in die Höhe, und augenblicklich sinkt auch der Gipfel der Quecksilbersäule ungefähr um die Hälfte der Barometerhöhe. Dem Gewichte der kleinen Aetherschicht, welche jetzt auf dem Quecksilber schwimmt, kann man diese Depression nicht zuschreiben; hat man, wie es nöthig ist, wenn der Versuch entscheidend sein soll, Aether genommen, welcher durch Kochen vollständig von Luft befreit worden ist, so kann man jene Depression auch nicht der aus dem Wasser sich entbindenden Luft zuschreiben. Aus dem Aether müssen sich also Dämpfe entwickelt haben, welche, wie die Gase, eine Tension haben; denn diese Aetherdämpfe wirken gerade so als ob man eine kleine Portion Luft in die leere Kammer hätte aufsteigen lassen.

Die Größe der Depression giebt zugleich ein Maß für die Spannkraft der Dämpfe. Nehmen wir an, die durch die Aetherdämpfe deprimirte Quecksilberkuppe stehe um 400 Millimeter tiefer als die Kuppe c des ersten Barometers, über welcher sich noch ein vollkommenes Vacuum befindet, so ist klar, daß die Aetherdämpfe auf die Quecksilberkuppe der Röhre b'' gerade so stark drücken, wie eine Quecksilbersäule von 400 Millimeter Höhe. Die Depression von 400 Millimeter ist also wirklich das Maß für die Spannkraft des Aetherdampfes.

Hätte man bei dem dritten Barometerrohre b' Wasser anstatt Aether in das Vacuum steigen lassen, so würde man eine weit unbedeutendere Depression erhalten haben als beim Aether; bei einer Temperatur von 18° C. wird die Depression im Wasserbarometer nur ungefähr 15 Millimeter betragen, oder mit anderen Worten, die Spannkraft des Wasserdampfes hält unter diesen Umständen dem Druck einer Quecksilbersäule von 15 Millimeter das Gleichgewicht.

250 **Maximum der Spannkraft der Dämpfe.** Wenn in einen luftleeren Raum so viel Flüssigkeit gebracht wird, daß sie nicht ganz verdampfen kann, wenn also, nachdem der vorher luftleere Raum mit Dampf erfüllt ist, noch Flüssigkeit übrig bleibt, so unterscheidet sich ein solcher Dampf in seinem Verhalten wesentlich von dem Verhalten der Gase, wie wir es früher auf S. 104 kennen lernten, ein solcher Dampf folgt nämlich dem Mariotte'schen Gesetze nicht mehr.

Um dies richtig zu verstehen, müssen wir auf den S. 104 beschriebenen Versuch zurückkommen. Wenn sich in dem Barometerrohre $a\,g$, Fig. 507,

Digitized by Google

über dem Gipfel der Queckſilberſäule Luft befindet, ſo wird, wenn man das Rohr tiefer in das Gefäß hinabdrückt, wie es in Fig. 507 bei B dargeſtellt iſt, dadurch die Luft auf einen kleineren Raum $s'g'$ zuſammengepreßt, und dabei wächſt ihre Spannkraft, ſo daß mit dem Niederdrücken des Rohres auch eine Senkung des Gipfels der Queckſilberſäule von der Höhe s bis zur Höhe s' verbunden iſt.

Fig. 507.

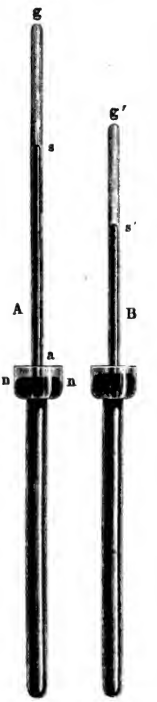
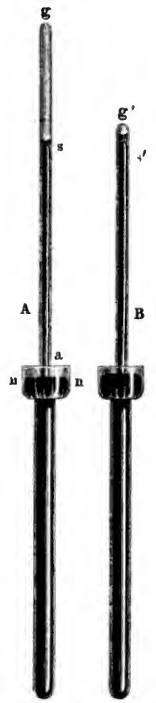


Fig. 508.



Um denſelben Verſuch mit Aetherdampf ſtatt mit Luft zu wiederholen, füllt man die Toricelli'ſche Röhre ſehr ſorgfältig mit Queckſilber, ſo daß alle Luft möglichſt entfernt iſt, was man am vollſtändigſten durch Auskochen oder durch die Luftpumpe erreichen kann. Iſt die Röhre bis auf ungefähr 1 Centimeter mit Queckſilber gefüllt, ſo gießt man dieſen Raum noch mit ausgekochtem, luftfreiem Aether voll, kehrt die Röhre auf die bekannte Weiſe um und taucht ihr unteres Ende in das Queckſilbergefäß. Der Aether ſteigt in die Höhe, ein Theil deſſelben verwandelt ſich in Dampf, welcher die bereits im vorigen Paragraphen betrachtete Depreſſion der Queckſilberſäule bewirkt, während noch ein Theil des Aethers in flüſſigem Zuſtande auf dem Queckſilber ſchwimmend zurückbleibt.

Wenn man aber nun die Röhre ag, Fig. 508, tiefer in das Gefäß hinabdrückt, wenn man ſie aus der Stellung A, Fig. 508, in die Stellung bei B bringt, ſo behält der Gipfel der Queckſilberſäule unverändert ſeine Höhe bei, wie auch das Volumen des Dampfraumes $s'g'$ verkleinert ſein mag.

Durch Verkleinerung des mit Aetherdampf gefüllten Raumes wird alſo die Spannkraft dieſes Dampfes nicht vermehrt. Je mehr man aber niederdrückt, deſto mehr nimmt die Menge des flüſſigen Aethers zu, die Verkleine-

Digitized by Google

rung des mit Aetherdämpfen erfüllten Raumes bewirkt also, daß sich ein Theil der Dämpfe wieder zu flüssigem Aether condensirt, während der übrige Dampf seine Spannkraft nicht ändert. Wenn man also den mit Aetherdampf gefüllten Raum auf $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ u. s. w. comprimirt, so wird auch $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ u. s. w. des Dampfes condensirt. Fährt man fort, das Rohr niederzudrücken, so gelangt man bald zu einem Punkte, wo aller Dampf verdichtet ist, so daß sich nur noch flüssiger Aether über der Quecksilbersäule befindet; dieses völlige Verschwinden der Dampfblase ist jedoch schwer zu erreichen, weil der Aether immer etwas absorbirte Luft enthält.

Wenn sich der aus einer Flüssigkeit entwickelte Dampf unter den eben betrachteten Umständen befindet, so daß sich durch Zusammendrücken auf einen kleineren Raum seine Spannkraft nicht vermehren läßt, so nennt man ihn einen gesättigten Dampf. Er besitzt das Maximum der Spannkraft, dessen der Dampf der fraglichen Flüssigkeit bei der Temperatur des Raumes, in welchem er sich befindet, überhaupt fähig ist.

Wenn man das Rohr aus der Stellung B, Fig. 508, wieder in die Höhe zieht, so behält der Gipfel der Quecksilbersäule immer noch dieselbe Höhe, die Spannkraft des Dampfes im oberen Theile des Rohres ändert also bei Vergrößerung des Raumes seine Spannkraft nicht, weil in dem Maße, wie dieser Raum vergrößert wird, sich sogleich neuer Dampf aus der Flüssigkeit entwickelt, so daß stets der Zustand der Sättigung erhalten, also der Dampf stets im Maximum der Spannkraft bleibt.

Wenn aber ein Raum eben mit gesättigtem Dampfe erfüllt ist, ohne daß noch Flüssigkeit vorhanden wäre, welche neuen Dampf liefern könnte, so wird bei einer Vergrößerung des Raumes der vorhandene Dampf sich ausdehnen, und nun ist er nicht mehr gesättigt, er ist nicht mehr im Maximum der Spannkraft und verhält sich nun auch ganz wie ein Gas. Die Spannkraft eines nicht gesättigten Dampfes läßt sich durch Compression erhöhen, bis es wieder gesättigt, bis das Maximum der Spannkraft wieder erreicht ist.

Man sieht daraus, daß der Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen nur ein relativer ist. Ein gesättigter Dampf kann bei Abschluß der Flüssigkeit, die ihn liefert, durch Vergrößerung des ihm gebotenen Raumes in den Zustand eines gewöhnlichen Gases übergeführt werden, während umgekehrt viele Gase, z. B. Kohlensäure, Ammoniakgas, schweflige Säure u. s. w., durch hinlängliche Compression in den Zustand eines gesättigten Dampfes, also auch in den tropfbar-flüssigen Zustand übergeführt werden können.

Solche Gase, welche man durch fortgesetzte Compression noch nicht tropfbarflüssig zu machen im Stande war, nennt man permanente Gase.

Im gewöhnlichen Leben bezeichnet man mit dem Namen der Dämpfe nur solche gasförmige Körper, die bei dem mittleren Druck und der mittleren Temperatur der Atmosphäre noch tropfbar-flüssig sein können, wie Aether, Weingeist, Wasser u. s. w.

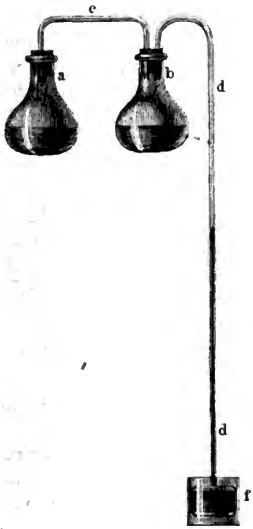
Digitized by Google

Einfluss der Temperatur auf die Spannkraft des gesättigten Dampfes. Während demnach die Spannkraft eines gesättigten Dampfes sich durch Compression nicht vergrößern läßt, wächst sie dagegen namhaft bei steigender Temperatur. Von der Abhängigkeit zwischen der Spannkraft eines gesättigten Dampfes und der Temperatur kann man sich schon durch Dampfbarometer überzeugen, wie wir sie in §. 249 kennen lernten. In einem Aetherdampfbarometer z. B. beträgt die Depression der Quecksilbersäule bei einer Temperatur von 0^0 nur 182^{mm}, bei einer Temperatur von 30^0 C. beträgt sie schon 637^{mm}. 251

Während die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes bei der mittlern Temperatur der Atmosphäre nur einer Quecksilbersäule von wenigen Millimetern das Gleichgewicht halten kann, ist sie bei höheren Temperaturen im Stande, die stärksten Dampfkessel zu zertrümmern.

Man kann nun fragen, welches wohl das Maximum der Tension des Dampfes in einem Raume sein wird, welcher an verschiedenen Stellen ungleich erwärmt ist. Nach den Bedingungen des Gleichgewichtes gasförmiger Körper muß an allen Stellen dieses Raumes der Dampf gleiche Tension haben, und da an den kälteren Stellen die Spannkraft des Dampfes nicht so groß sein kann als an den wärmeren, so ist klar, daß im ganzen Raume die Tension der Dämpfe dieselbe sein muß wie an der kältesten Stelle, daß also an den wärmeren Stellen der Dampf nicht das Maximum der Spannkraft erreichen kann, welches dieser höheren Temperatur zukommt.

Fig. 509.



Dies Princip läßt sich mit Hülfe des Apparates Fig. 509 anschaulich machen. Zwei Glaskölbchen *a* und *b*, welche beide etwas Aether enthalten, sind durch eine Röhre *c* verbunden; durch den Kork, welcher *b* verschließt, geht eine zweite abwärts gebogene Röhre *d*. Wenn man den Aether in *a* und *b* ins Kochen bringt (es geschieht dies am besten dadurch, daß man sie in heißes Wasser taucht), so entweichen die Dämpfe durch die Röhre *d* und nehmen die Luft aus dem Apparate mit fort. Nun taucht man das untere Ende der Röhre *d* in ein Gefäß mit Quecksilber und entfernt die Wärmequellen, welche den Aether ins Kochen gebracht hatten. Alsbald wird *a* und *b* bis auf die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet sein, die Spannkraft der Dämpfe im

Digitized by Google

Apparate nimmt dabei bis zu einer bestimmten Gränze ab, und das Queckſilber ſteigt demnach in der Röhre *d* bis zu einer bestimmten Höhe, welche von der Temperatur der umgebenden Luft abhängt. Taucht man nun das eine Kölbchen in Schnee oder in eine Kältemiſchung, ſo ſteigt das Queckſilber alsbald eben ſo hoch, als ob beide Kölbchen dieſelbe Erkaltung erfahren hätten.

Darauf gründet ſich die Anwendung des Condenſators bei Dampfmaſchinen, den wir ſpäter werden kennen lernen.

252 **Messung der Spannkraft der Wasserdämpfe.** Um die Spannkraft des Waſſerdampfes zu beſtimmen, hat man verſchiedenartige Apparate anzuwenden, je nachdem man ſie für eine Temperatur zwiſchen 0° und 100° oder über 100° ermitteln will.

Fig. 510.

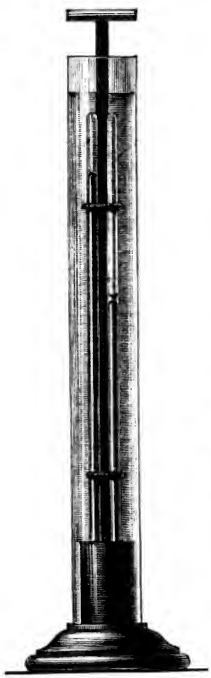


Fig. 511.

Zwiſchen 0° und 100° wendet man den in Fig. 510 abgebildeten Apparat an. Er beſteht aus zwei Barometerröhren, welche neben einander in daſſelbe Gefäß eingetaucht ſind; die erſte dieſer Röhren bildet ein vollſtändiges Barometer, in der zweiten befindet ſich über dem Queckſilber etwas Waſſer, welches zum Theil im leeren Raume verdampft. Dieſe beiden Röhren werden mittelſt eines Eiſenſtabes in ein hinlänglich tiefes Glasgefäß eingeſenkt. Dieſes Gefäß iſt ganz mit Waſſer gefüllt, welches man bis zu jeder beliebigen Temperatur zwiſchen 0° und 100° erwärmen kann. Die Temperatur dieſes Waſſers, welches durch zweckmäßig angebrachte Thermometer beſtimmt wird, iſt zugleich die der beiden Barometer und des Waſſerdampfes in dem einen. Um die Elaſticität des Waſſerdampfes zu erhalten, welche jedem Temperaturgrade entſpricht, hat man nur zu ermitteln um wie viel die Queckſilberkuppe im Dampfbarometer tiefer ſteht, als der Gipfel der Queckſilberſäule im vollſtändigen Barometer.

Um die Spannkraft der Dämpfe über 100° zu meſſen, läßt ſich folgendes Verfahren anwenden. An einer ziemlich langen Glasröhre, Fig. 511, iſt ein weiteres Gefäß angeſchmolzen, ungefähr ſo wie das Gefäß eines Barometers; die längere Röhre ſowohl wie die kürzere

Digitized by Google

sind oben offen. Wenn man Quecksilber eingießt, so stellt es sich natürlich in beiden Röhren gleich hoch. Nun wird die zu untersuchende Flüssigkeit in das weitere Gefäß auf das Quecksilber gebracht, dann einige Zeit lang im Kochen erhalten und zugeschmolzen, wenn alle Luft ausgetrieben ist. Bringt man das Gefäß in eine Flüssigkeit, deren Temperatur höher ist als der Siedepunkt der eingeschlossenen Flüssigkeit, so bilden sich Dämpfe, welche auf das Quecksilber im Gefäße drücken und es in der längeren Röhre steigen machen. Die Differenz der Quecksilberspiegel im Gefäße und der Röhre giebt an, wie viel die Spannkraft der Dämpfe größer ist als ein Atmosphärendruck.

Um die Röhre vor dem Zerbrechen zu schützen und um zugleich die Höhe der gehobenen Quecksilbersäule messen zu können, ist der Apparat auf einem getheilten Brette befestigt. Wenn die Röhre lang genug ist, kann man mit dieser Vorrichtung die Tension der Wasserdämpfe bis zu 3 und 4 Atmosphären messen.

Um stärkere Spannkräfte zu messen, braucht man nur die Steigröhre zuzuschmelzen, so daß in ihr ein bestimmtes Luftquantum abgesperrt ist. Wenn die Dämpfe im Gefäße das Quecksilber in die Röhre treiben, so wird die abgesperrte Luft comprimirt, und man kann leicht aus der Höhendifferenz der beiden Quecksilberspiegel die Spannkraft des Dampfes berechnen.

Die folgenden Tabellen enthalten das Maximum der Spannkraft der Wasserdämpfe für verschiedene Temperaturen:

Grade.	Spannkraft des Wasserdampfes in Millimetern.	Druck auf 1 Quadratcentimeter in Kilogrammen.	Druck auf 1 Quadratzoll preuß. in Pfunden.
0	5	0,007	0,101
10	9	0,013	0,189
20	17	0,023	0,344
30	30	0,042	0,611
40	53	0,072	1,053
50	89	0,126	1,763
60	145	0,196	2,874
70	229	0,311	4,552
80	352	0,478	6,996
90	525	0,714	10,437
100	760	1,033	15,101

Digitized by Google

Spannkraft in Atmosphären.	Entsprechende Temperaturen.	Druck auf 1 Quadratcentimeter in Kilogrammen.	Druck auf 1 Quadratzoll preuß. in Pfunden.
1	100	1,03	15,1
2	121	2,07	30,2
4	145	4,83	60,4
6	160	6,20	90,6
8	172	8,26	120,9
10	182	10,33	151,1
15	200	15,49	226,6
20	215	20,66	302,2
25	226	25,82	377,7
30	236	30,99	453,2

Um die Beziehungen zwischen der Temperatur und der entsprechenden Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes auszudrücken, sind eine große Zahl empirischer Formeln aufgestellt worden, von welchen die folgende

$$log.\ e = 5{,}58188\ log.\ [1 + 0{,}0062108\ (t - 100)],$$

in welcher e die in Atmosphären ausgedrückte Spannkraft, t die Temperatur nach Centesimalgraden bezeichnet, eine der einfachsten ist und sich auch ziemlich gut den Beobachtungen anschließt.

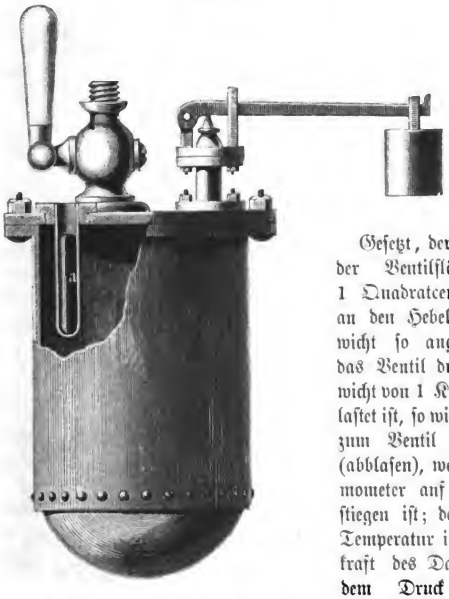
Die Spannkraft des Dampfes wächst, wie man sieht, in einem weit rascheren Verhältnisse als die Temperatur, d. h. bei höheren Temperaturen bringt eine bestimmte Temperaturerhöhung eine weit größere Vermehrung der Spannkraft hervor als bei niedrigen; während eine Temperaturerhöhung von 100 bis 121°, also um 21°, die Spannkraft des Wasserdampfes um 1 Atmosphäre vermehrt, wächst sie bei einer Temperaturerhöhung von 226 bis 236°, also bei einer Temperaturerhöhung von nur 10 Graden, schon um 5 Atmosphären, zwischen 226 und 236° reicht also ungefähr eine Temperaturerhöhung von 2° schon hin, um die Spannkraft des Wasserdampfes um 1 Atmosphäre zu steigern.

Wie mit steigender Temperatur die Spannkraft der Dämpfe wächst, läßt sich auch mit Hülfe eines kleinen Dampfkessels, des papinianischen Topfes, Fig. 512, zeigen. In dem fest aufgeschraubten Deckel befinden sich drei Oeffnungen; auf der einen ist ein Sicherheitsventil von der bereits auf Seite 115 betrachteten Einrichtung angebracht; in die zweite Oeffnung in ein in den Kessel hineinragendes Röhrchen a von Eisenblech aufgeschraubt, welches zum Theil mit Quecksilber gefüllt wird. Auf der dritten Oeffnung endlich sitzt ein kurzes Rohr, welches durch einen Hahn verschlossen werden kann und auf welches man verschiedene Ausströmungsöffnungen aufschrauben kann.

Digitized by Google

Wird der bis zu $^2/_3$ seiner Höhe mit Wasser gefüllte Kessel genügend erhitzt, so kommt das Wasser nach einiger Zeit ins Kochen, wenn der Hahn geöffnet ist; ein in das Quecksilber des Rohres *a* eingetauchtes Thermometer zeigt constant die Temperatur des Siedepunktes. Sobald man aber den Hahn schließt, also das Abziehen der Dämpfe hindert, steigt sogleich das Thermometer, und die Spannkraft der Dämpfe im Kessel wächst, bis sie endlich groß genug ist, um das Sicherheitsventil zu heben und hier einen Ausweg zu erzwingen.

Fig. 512.



Gesetzt, der Querschnitt der Ventilfläche betrage 1 Quadratcentimeter und an den Hebel sei ein Gewicht so angehängt, daß das Ventil durch ein Gewicht von 1 Kilogramm belastet ist, so wird der Dampf zum Ventil herausblasen (abblasen), wenn das Thermometer auf 121° C. gestiegen ist; denn bei dieser Temperatur ist die Spannkraft des Dampfes gleich dem Druck von zwei Atmosphären, und dies ist der Druck, welcher, den Luftdruck selbst mitgerechnet, auf dem Ventile lastet.

Die Zunahme der Spannkraft bei wachsender Temperatur hat zwei Ursachen. Denken wir uns irgend einen abgesperrten Raum mit Wasserdampf von 100°, also mit gesättigtem Dampf von 1 Atmosphäre Spannkraft erfüllt; in diesem Raume sei ganz und gar kein Wasser mehr vorhanden, er sei ganz vom Wasser abgesperrt. Wird nun die Temperatur dieses Raumes auf 121° erhöht, so strebt der in ihm enthaltene Dampf allerdings, sich auszudehnen, und weil er sich nicht ausdehnen kann, wird seine Spannkraft wachsen, aber nicht viel; der Dampf ist nun nicht mehr gesättigt, er verhält sich ganz wie ein Gas. Wenn sich aber noch Wasser in diesem Raume befindet, so wird

Digitized by Google

sich in Folge der Temperaturerhöhung eine neue Quantität Dampf bilden; die Zunahme der Spannkraft um 1 Atmosphäre rührt also vorzugsweise daher, daß der Dampf dichter wird und in Folge seiner größeren Dichtigkeit einen größeren Druck ausübt.

1 Cubikdecimeter (Liter) Wasser liefert:

1700	Liter	gesättigten	Dampf	von	100°	C.	und 1	Atm. Spannkraft
897	„	„	„	„	121	„	2	„ „
475	„	„	„	„	145	„	4	„ „
207	„	„	„	„	182	„	10	„ „

Man sieht aus den obigen Tabellen, daß für die Temperatur des Siedepunktes die Spannkraft des Wasserdampfes dem Drucke der Atmosphäre das Gleichgewicht hält; dies ist ganz allgemein wahr; die Spannkraft des Dampfes, welcher sich aus irgend einer kochenden Flüssigkeit bildet, ist immer dem Drucke gleich, welcher auf den Dampfblasen lastet; denn wenn sie geringer wäre, so könnte der Dampf nicht in Gestalt von Blasen im Inneren der Flüssigkeit bestehen; und wenn sie stärker wäre, so müßte sich der Dampf schon früher gebildet haben. Für den Siedepunkt haben die Dämpfe aller Flüssigkeiten gleiche Spannkraft. Dalton glaubte, daß in gleichem Temperaturabstande von ihrem Siedepunkte die Spannkräfte der Dämpfe aller Flüssigkeiten gleich seien. Nach dem Dalton'schen Gesetze wäre es also nur nöthig, die Tafel für die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes zu haben und den Siedepunkt einer Flüssigkeit zu kennen, um die Spannkraft ihrer Dämpfe für alle Temperaturen zu ermitteln. Der Siedepunkt des Alkohols z. B. ist 78°; die Spannkraft des Alkoholdampfes bei 99°, also 21° über dem Siedepunkte, müßte der Spannkraft des Wasserdampfes bei 121° gleich sein, welche 2 Atmosphären ist. Nach diesem Gesetze wäre die Spannkraft des gesättigten Alkoholdampfes bei 0° gleich 19 Millimeter, weil dies die Spannkraft des Wasserdampfes bei einer Temperatur ist, welche 78° unter dem Siedepunkte des Wassers liegt. Aus den Versuchen mehrerer Physiker geht jedoch hervor, daß dieses Gesetz nicht genau ist.

Es giebt Flüssigkeiten, deren Siedepunkt unter der mittleren Lufttemperatur liegt; solche Körper können natürlich unter gewöhnlichen Umständen nicht tropfbar flüssig sein, sie sind bei der gewöhnlichen Lufttemperatur unter dem gewöhnlichen Luftdrucke nur gasförmig; man muß solche Gase comprimiren und erkalten, um sie tropfbar flüssig zu machen. So siedet z. B. die schweflige Säure bei — 10°; in einer Glasröhre eingeschmolzen, üben ihre Dämpfe bei 25° schon einen Druck von ungefähr 5 Atmosphären aus.

Cyangas, Ammoniak, Kohlensäure u. s. w. lassen sich ebenfalls durch Compressionen und Erkaltung zu Flüssigkeiten verdichten. Der Dampf der flüssigen Kohlensäure hat bei 0° schon eine Spannkraft von 36, bei 30° schon eine Spannkraft von 73 Atmosphären.

253 Der Dampfkessel. Wo es sich darum handelt, Wasserdampf in größerer Menge zu erzeugen, sei es zum Betriebe von Dampfmaschinen, zur Dampf-

Digitized by Google

heizung u. s. w., wendet man eigens construirte Dampfkessel an, deren Größe, Gestalt, Heizvorrichtung u. s. w., je nach den speciellen Zwecken, die mannigfaltigsten Abänderungen erleiden. Wie übrigens auch der Dampfkessel sonst eingerichtet sein mag, so sind folgende Bestandtheile durchaus nothwendig:

1) Das Dampfleitungsrohr, welches den Dampf aus dem oberen Theile des Dampfkessels dem Orte zuführt, wo er zur Verwendung kommen soll.

2) Das Speiserohr, durch welches (meist mittelst einer Druckpumpe) dem Kessel wieder Wasser zugeführt werden kann, um das zu ersetzen, was durch Verdampfung consumirt wird.

3) Das Mannloch, eine durch eine aufgeschraubte Metallplatte verschlossene Oeffnung, welche groß genug ist, daß ein Mann durch sie in den Kessel einsteigen kann, wenn derselbe einer Reinigung bedarf.

4) Ein Sicherheitsventil.

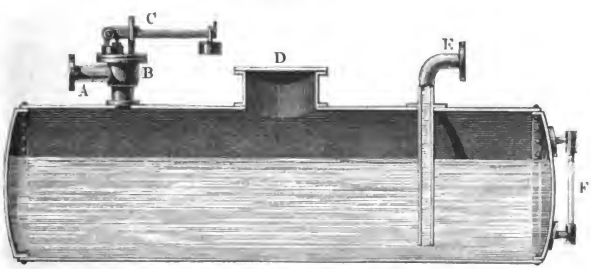
5) Ein Wasserstandszeiger, d. h. irgend eine Vorrichtung, durch welche man ersehen kann, wie hoch das Wasser im Kessel steht, um danach den Wasserzufluß reguliren zu können.

Fig. 513 stellt einen möglichst einfachen Dampfkessel mit den soeben als wesentlich bezeichneten Theilen dar. Es ist

A das Dampfrohr,
E das Speiserohr,
C das Sicherheitsventil,
D das Mannloch,
F der Wasserstandszeiger,

hier ein Glasrohr, welches durch horizontale Messingröhrchen mit dem oberen und dem unteren Theile des Dampfkessels in Verbindung steht, so daß das Wasser im Glasrohre sich stets in gleiche Höhe mit dem Wasser im Kessel stellen muß. Statt eines solchen Rohres werden auch andere Vorrichtungen zum gleichen Zwecke angewandt.

Fig. 513.



Die Kesselwände müssen natürlich um so stärker gemacht werden, je größer der Durchmesser des Kessels und je größer die Spannkraft der Dämpfe ist,

Digitized by Google

welche er einschließt. In den meisten Staaten sind, um Unglück zu verhüten, die Anlagen von Dampfkesseln an gesetzliche Bestimmungen geknüpft und namentlich ist das Verhältniß der Dicke der Kesselwände zu dem Durchmesser des Kessels und der Spannkraft der Dämpfe normirt. Nach dem französischen Gesetz z. B. soll für einen Kessel von 0,5 Meter Durchmesser das Eisen- oder Kupferblech, aus welchem derselbe gemacht ist,

3,9 5,7 9,3 Millimeter dick sein

für eine Spannkraft von

2 4 8 Atmosphären.

Für einen Kessel von 1 Meter Durchmesser sind aber Folgendes die zusammengehörigen Werthe der Spannkraft und der Blechdicke:

2 4 8 Atmosphären,
4,8 8,4 15,8 Millimeter.

Gußeiserne Dampfkessel sind meist verboten.

254 **Die Dampfmaschine.** Der Wasserdampf gehört zu den mächtigsten bewegenden Kräften, die uns zu Gebote stehen. Es unterliegt keinem Zweifel, daß der ungeheure Aufschwung, dessen sich die Industrie und der Verkehr in den neueren Zeiten zu erfreuen haben, zum großen Theil der Anwendung der Dampfkraft zu verdanken ist. Der Wasserdampf liefert uns eine Kraft, deren wir aufs Vollkommenste Meister sind, der wir jede beliebige Stärke geben können und die sich leicht überall erzeugen und anbringen läßt.

Schon seit 1788 wandte man in England die Dampfkraft zur Förderung der Grubenwasser in Bergwerken an; aber abgesehen davon, daß die dazu verwandten Maschinen Savary's und Newkomen's doch nur eine sehr beschränkte Anwendbarkeit haben, war ihr Betrieb auch sehr kostspielig. Erst Watt gelang es, die Construction der Dampfmaschine so zu vervollkommnen, daß eine allgemeine Benutzung der Dampfkraft möglich wurde, und dadurch wurde Watt der Gründer einer neuen Aera für die Industrie. Der Bau der Dampfmaschine machte in kurzer Zeit ungeheure Fortschritte. Die Dampfmaschine ist in der That eine Mustermaschine geworden, an welcher die praktische Mechanik eine tüchtige Schule durchgemacht hat.

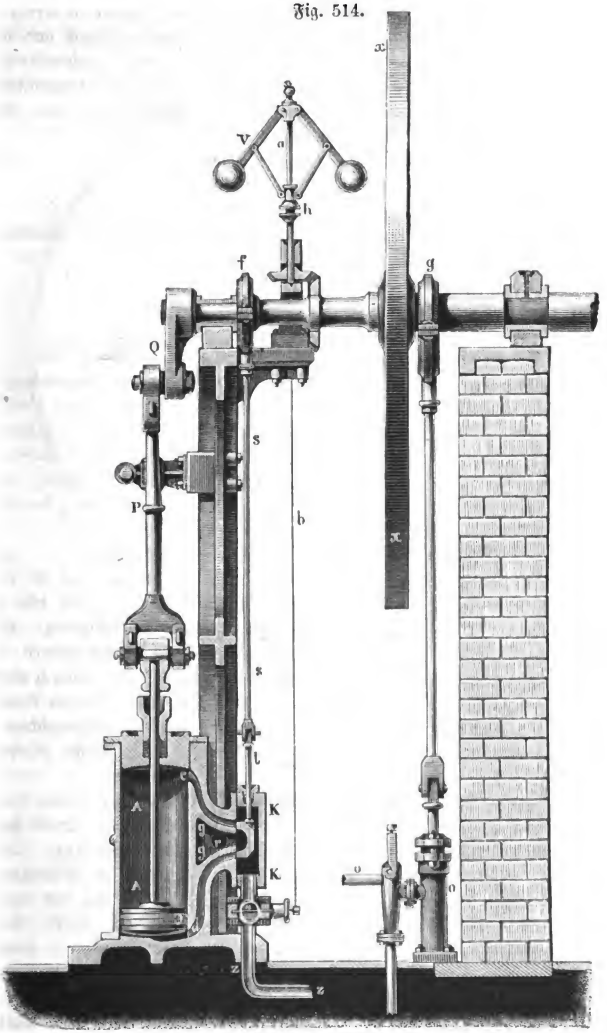
Wir wollen die Dampfmaschine zunächst in ihrer einfachsten Form kennen lernen. Fig. 514 stellt eine Hochdruckdampfmaschine im Durchschnitt, Fig. 515 (a. S. 470) stellt von derselben Maschine eine vordere Ansicht dar. Durch das Rohr z gelangt der Dampf aus dem Dampfkessel zunächst in den Dampfraum K, von welchem aus zwei Canäle zum Cylinder A führen; der eine mündet am oberen Ende des Cylinders bei e, der andere am unteren Ende bei d. Durch den Vertheilungsschieber, den wir alsbald näher betrachten wollen, wird bewirkt, daß der Dampf abwechselnd unten und dann wieder oben in den Cylinder einströmt und den Kolben C abwechselnd auf und nieder treibt.

Die Kolbenstange bewegt sich luft- und dampfdicht durch eine Stopfbüchse, welche sich in der Mitte des oberen Cylinderdeckels befindet.

An der Kolbenstange ist zunächst die Pleuelstange (Treibstange) P be-

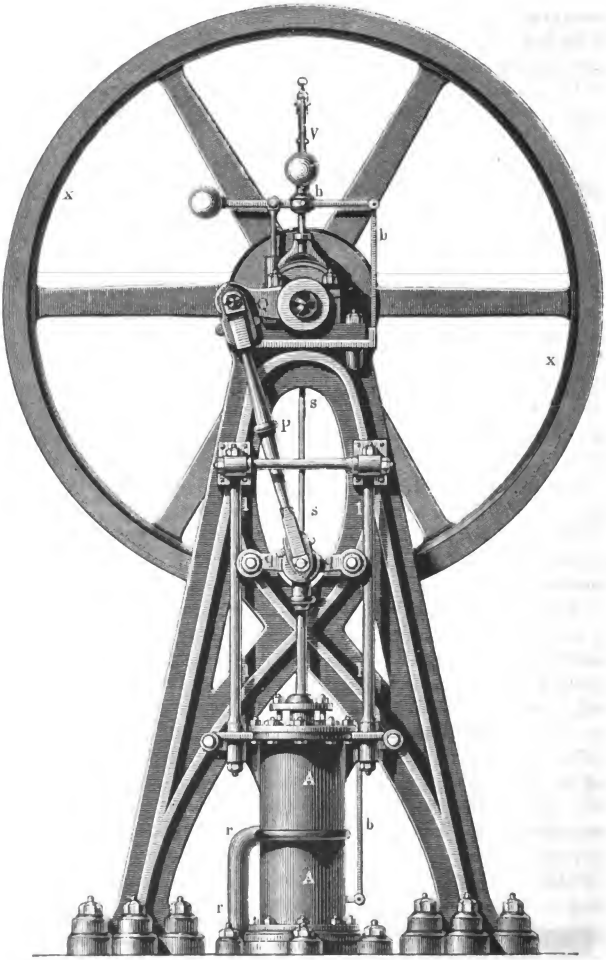
Digitized by Google

Fig. 514.



Digitized by Google

Fig. 515.



Digitized by Google

festigt, welche durch Vermittlung der Kurbel Q die alternirende Bewegung des Kolbens in eine gleichförmige Rotationsbewegung verwandelt. Die Axe der Kurbel Q ist die Hauptaxe der Maschine, welche in Bewegung gesetzt werden soll; an dieser Axe ist auch das Schwungrad X befestigt, welches dazu dient, kleinere Ungleichheiten im Gange der Maschine auszugleichen.

Um den verticalen Gang der Kolbenstange zu sichern, ist am oberen Ende derselben ein Querstück q angebracht, welches durch die zu beiden Seiten stehenden eisernen Säulen l geführt wird.

Die Bewegung des Kolbens C ist begreiflicherweise nicht gleichförmig, da derselbe am oberen und unteren Ende seiner Bahn momentan zur Ruhe kommt, um dann die Richtung seiner Bewegung umzukehren. Seine Geschwindigkeit ist am größten, wenn er eben die Mitte des Cylinders passirt; sie nimmt um so mehr ab, je mehr er sich dem oberen oder unteren Ende des Cylinders nähert. Betrachten wir nun die Bewegung der Kurbel, so finden wir, daß bei gleichförmiger Umdrehungsgeschwindigkeit ihre Bewegung im verticalen Sinne dennoch sehr veränderlich ist. Der Kurbelarm steht wagerecht, wenn der Kolben C sich in der Mitte des Cylinders befindet, in diesem Momente hat die Bewegung der Kurbel eine verticale Richtung; wenn aber der Kolben C seine höchste oder tiefste Stellung hat, so bewegt sich die Kurbel in horizontaler Richtung. Der verticale Antheil der Kurbelbewegung ist der Bewegung des Kolbens ganz gleich; in dem Maße, in welchem die Kurbelbewegung mehr horizontal wird, nimmt die Geschwindigkeit des Kolbens ab, ohne daß dadurch eine Verminderung in der Umdrehungsgeschwindigkeit der Kurbel erfolgte.

Der Durchmesser der Kurbelbahn ist begreiflicherweise der Höhe des Cylinders, die Dicke des Kolbens abgerechnet, gleich; die Länge des Kurbelarms ist demnach der halben Hubhöhe des Kolbens gleich.

Das Schwungrad X dient dazu, die Bewegung der Maschine gleichförmig zu erhalten. Wenn auch der Druck des Dampfes auf den Kolben ganz unveränderlich wäre, so würde er doch nicht bei allen Stellungen der Kurbel gleichviel zu deren Umdrehung beitragen können. In der That kann man den Druck, welcher durch die Treibstange P auf die Kurbel wirkt, in zwei zu einander rechtwinklige Kräfte zerlegt denken; die eine, in der Richtung der Kurbel selbst als Druck auf die Axe wirkend, trägt nichts zur Umdrehung bei, welche ganz allein durch die andere, tangential zur Kurbelbahn wirkende Seitenkraft hervorgebracht wird. Die Größe dieser beiden Kräfte ändert sich aber in jedem Momente. Wenn der Kurbelarm vertical steht, wirkt jeder Druck, welcher vom Kolben ausgeht, einzig und allein als Druck auf die Kurbelaxe. Wenn in dieser Stellung die Maschine stillstände, so würde der größte Druck auf den Kolben sie nicht in Bewegung setzen können; daß also die Maschine, indem sie in diese Stellung kommt, nicht absolut stillstehen bleibt, rührt einzig und allein daher, daß die einzelnen Maschinentheile vermöge ihrer Trägheit ihre Bewegung fortsetzen, gerade so wie ein Pendel, wenn es in der Ruhelage ankommt, doch vermöge seiner Trägheit die Bewegung fortsetzt.

Ueberhaupt wird der Lauf der Maschine eine Beschleunigung erfahren,

Digitized by Google

während der Kolben sich in der Nähe der Mitte des Cylinders bewegt: dagegen tritt eine Verzögerung im Laufe der Maschine ein, wenn sich der Kolben nahe am oberen oder unteren Ende des Cylinders befindet; diese Ungleichförmigkeiten werden aber durch das Schwungrad um so mehr ausgeglichen, je größer die Masse und der Halbmesser desselben ist.

Betrachten wir nun die Steuerung der Maschine, d. h. die Vorrichtung, durch welche bewirkt wird, daß der aus dem Kessel kommende Dampf, welcher bei diesen Maschinen eine Spannkraft von 4 bis 6 Atmosphären erreicht, abwechselnd unten und dann wieder oben in den Cylinder eintritt. In der dem Cylinder zugekehrten Wand des Dampfraumes K befinden sich drei Oeffnungen, von denen die eine mit dem oberen, die andere mit dem unteren Theile des Cylinders in Verbindung steht, während die mittlere zu einer Höhlung g, Fig. 514, führt, aus welcher der verbrauchte Dampf durch das Rohr r in die freie Luft gelangt. Vor diesen Oeffnungen bewegt sich nun der Vertheilungsschieber, dessen Einrichtung aus Fig. 516 näher zu ersehen ist. In der Stellung, wie sie Fig. 514 zeigt, sind beide Canäle durch den Schieber verschlossen, es strömt gar kein Dampf in den Cylinder, denn es ist ja dies der Moment, in welchem der Kolben gerade seine tiefste Stellung hat, in welchem die Maschine im sogenannten todten Punkte angelangt ist. In dem Maße aber, als der Kolben steigt, wird auch der Schieber gehoben; er erreicht seine höchste Stellung, wenn der Kolben gerade die Mitte des Cylinders erreicht, also seine größte Geschwindigkeit hat. In diesem Momente ist die untere Oeffnung ganz frei, Fig. 517, so daß der Dampf mit voller Kraft in den unteren Theil des Cylinders einströmen kann, während der verbrauchte Dampf aus dem oberen Theil des Cylinders durch den Canal e und die Höhlung des Schiebers nach g gelangt und von da durch r (in Fig. 517 und 518 steht a an der Stelle von r) entweicht.

Fig. 516.

Fig. 517.

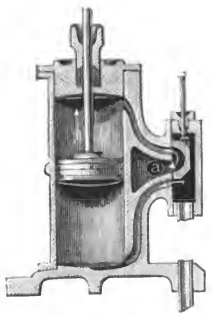
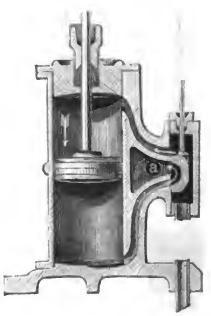


Fig. 518.



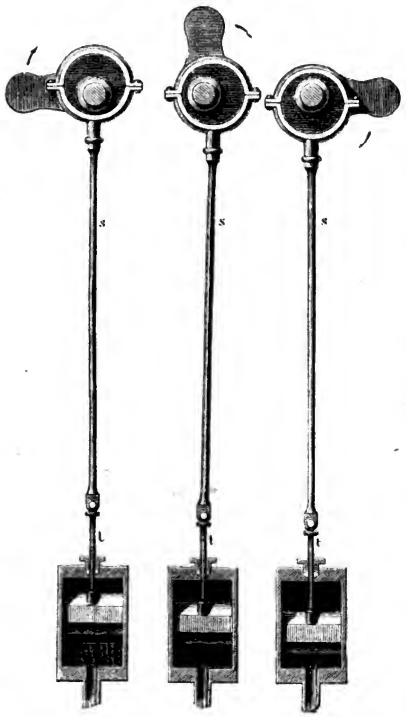
Nähert sich der Kolben mit abnehmender Geschwindigkeit dem oberen Ende

Digitized by Google

des Cylinders, so geht der Schieber allmälig wieder nieder, um alle Oeffnungen in dem Augenblicke zu schließen, in welchem der Kolben das oberste Ende seiner Bahn erreicht. Während darauf der Kolben wieder niedergeht, fährt auch die niedergehende Bewegung des Schiebers noch fort, bis der Kolben wieder in der Mitte des Cylinders angekommen ist, wo dann die obere Oeffnung ganz frei ist, Fig. 518, und der Dampf aus der unteren Hälfte des Cylinders durch die Höhlung des Schiebers entweicht.

Die eben betrachtete Bewegung des Vertheilungsschiebers muß natürlich durch die Maschine selbst bewerkstelligt werden, und zwar geschieht dies durch die excentrische Scheibe *f*, die wir in Fig. 514 von der Seite sehen. Fig. 519, 520 und 521 zeigen dieselbe von vorn gesehen in drei Hauptstellungen.

Fig. 519. Fig. 520. Fig. 521.



Die excentrische Scheibe ist eine kreisförmige Scheibe, die an der Hauptaxe der Maschine befestigt ist, deren Mittelpunkt aber nicht mit dem Mittelpunkte der Axe zusammenfällt, so daß bei jeder Umdrehung der Axe der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe einen kleinen Kreis zu beschreiben hat, dessen Durchmesser der Bahn gleich ist, welche der Schieber bei seiner auf- und niedergehenden Bewegung zurücklegt.

Um den Umfang dieser Scheibe ist ein Ring gelegt, an welchem die Stange *s* befestigt ist; an der Stange *s* hängt nun wieder mittelst eines Gelenkes die Schieberstange *t*, und so ist klar, daß der Schieber aufwärts gezogen wird, während der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe durch die Umdrehung der Axe aus seiner tiefsten in seine höchste Stellung gelangt, daß umgekehrt der Schieber niedergedrückt wird,

Digitized by Google

während der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe auf der anderen Hälfte seiner Bahn niedergeht.

Da der Dampf unten voll einströmen muß, wenn der Kolben in aufgehender Bewegung die Mitte des Cylinders passirt, so muß der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe seinen höchsten Stand einnehmen, wenn der Kurbelarm eben wagerecht steht, Fig. 519. Gelangt der Kurbelarm in seine höchste Stellung, so daß er vertical nach oben gerichtet ist, so steht jetzt der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe in gleicher Höhe mit dem Mittelpunkte der Axe, der Schieber befindet sich gerade in der Mitte seiner Bahn und verschließt alle Oeffnungen, Fig. 520. Wenn der Kolben, nach unten gehend, die Mitte des Cylinders passirt, so steht die Kurbel wieder wagerecht und die excentrische Scheibe nimmt ihre tiefste Stellung ein, damit der Dampf frei durch die obere Oeffnung einströmen könne, Fig. 521.

Um die Maschine im Gange zu halten, muß im Kessel fortwährend Wasser verdampft werden; es ist also klar, daß in gleichem Maße dem Kessel wieder frisches Wasser zugeführt werden muß, wenn der Gang der Maschine keine Störungen erleiden soll. Dies geschieht nun durch die Druckpumpe *o*, Fig. 514, deren Kolben durch die excentrische Scheibe *g* bewegt wird. Die innere Einrichtung einer solchen Druckpumpe *o* haben wir bereits oben S. 100 kennen gelernt.

Wenn die zu verrichtende Arbeit, der zu überwindende Widerstand im Allgemeinen ab- oder zunimmt, so ist die Folge davon, daß der Gang der Maschine schneller oder langsamer wird. Momentane kurz dauernde Störungen der Art werden schon durch das Schwungrad ausgeglichen; eine allgemeine Verminderung des Widerstandes und der Last aber würde bei unverändertem Zuflusse des Dampfes eine immer zunehmende Beschleunigung des Ganges der Maschine zur Folge haben. Damit nun die Geschwindigkeit nicht über eine gewisse Gränze wachsen kann, muß im Dampfzuflußrohre eine Klappe, Drosselventil, angebracht sein, durch deren Drehung dem Dampfe der Weg mehr oder weniger versperrt wird, je nachdem sie mehr und mehr aus der verticalen Lage (der vollkommenen Oeffnung) in die horizontale (den vollkommenen Verschluß) übergeht. Die Drehung dieser Klappe muß aber durch die Maschine selbst besorgt werden, und dies geschieht durch eine Vorrichtung, welche den Namen Regulator führt.

Die Bewegung der Hauptaxe wird durch Winkelräder auf eine verticale Axe *a*, Fig. 514, übertragen, welche das conische Pendel *V* trägt; es besteht dies aus zwei schweren Kugeln, die an das obere Ende der Stange *a* so angehängt sind, daß sie vermöge ihrer Centrifugalkraft auseinanderfahren, wenn die Axe *a* rasch umgedreht wird; sobald dies aber geschieht, wird die Hülse *h* gehoben und dadurch die Stange *b* in die Höhe gezogen (in Fig. 514 ist dieselbe nur durch eine Linie angedeutet), dadurch aber wird das Drosselventil *n* um seine Axe gedreht und also der Zufluß des Dampfes um so mehr gehemmt, je rascher die Maschine läuft.

255 **Niederdruckmaschinen.** Bei den eben besprochenen Maschinen ist die eine Seite des Cylinders mit der atmosphärischen Luft in Verbindung, so daß

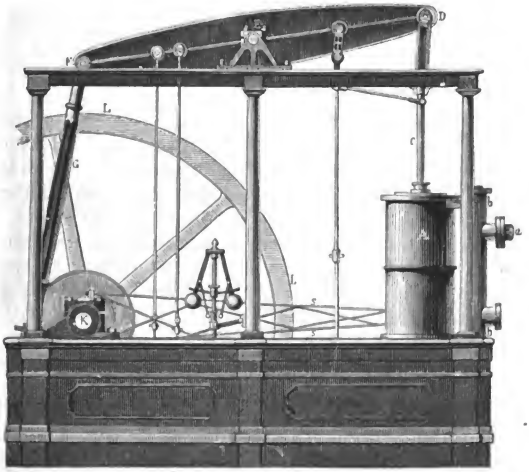
Digitized by Google

auf dieser Seite des Kolbens der Druck der Atmosphäre lastet, während auf der anderen Seite der Druck des Dampfes wirkt; es ist klar, daß hier der Dampfdruck ein bedeutender sein muß, da ja ein Theil desselben noch zur Ueberwindung des Luftdrucks verwandt wird und nur der Rest der Bewegung zu gut kommt. Solche Maschinen heißen Hochdruckmaschinen, weil in ihnen Dampf von hoher Spannung in Anwendung kommt.

Soll nun aber die Maschine schon durch Dampf von geringer Spannkraft (von niederem Druck) getrieben werden, so muß man auf der anderen Seite des Kolbens nicht die atmosphärische Luft drücken lassen, sondern einen verdünnten Raum erzeugen, was dadurch geschieht, daß man die verbrauchten Dämpfe nicht in die freie Luft ausströmen läßt, sondern daß man sie zu einem Behälter hinleitet, in welchem sie durch Einspritzen von kaltem Wasser verdichtet werden. Dieser Verdichtungsraum heißt der Condensator, und Dampfmaschinen, welche, mit einem Condensator versehen, durch Dämpfe von geringer Spannkraft getrieben werden können, heißen Niederdruckmaschinen.

Watt's Maschinen waren Niederdruckmaschinen. Fig. 522 stellt eine Totalansicht, Fig 523 (a. f. S.) stellt den Durchschnitt des unteren Theils der

Fig. 522.



Maschine dar. Der Vertheilungsschieber hat hier eine etwas andere Einrichtung als der früher betrachtete. Der verbrauchte Dampf strömt durch den Canal *d*, Fig. 523, nach dem Condensator *e*, in welchem die Verdichtung der Dämpfe durch fortwährend eingespritztes Wasser bewirkt wird. Das durch Einspritzen und durch

Digitized by Google

Verdichtung der Dämpfe im Condensator sich sammelnde Wasser wird durch eine besondere Pumpe *h* fortgeschafft, welche die Condensatorpumpe oder auch die Luftpumpe heißt, weil sie außer dem Wasser auch die Luft fortschafft, welche sich im Kessel beim Kochen des Wassers entbindet und mit den Dämpfen durch die Maschine geht.

Bei der Watt'schen Maschine wird die Bewegung der Kolbenstange zunächst auf einen zweiarmigen Hebel, den Balancier *DF*, Fig. 522, übertra-

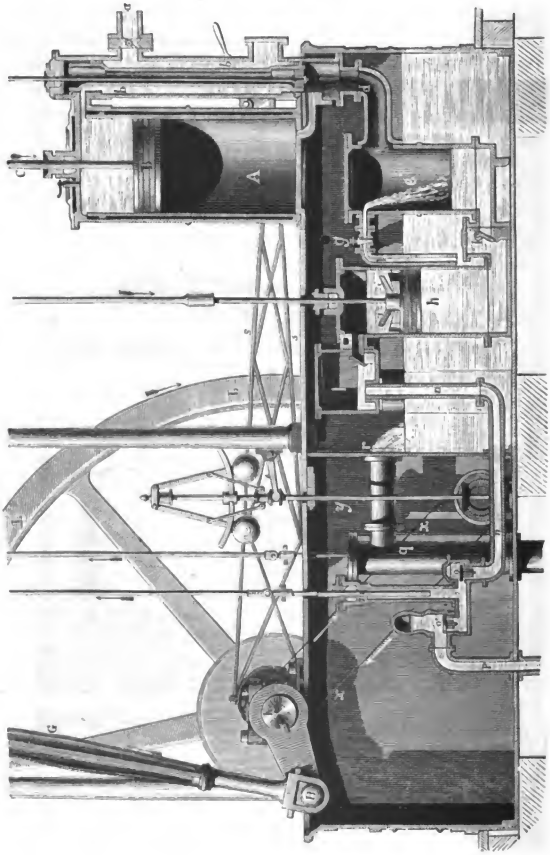


Fig. 523.

gen, an deſſen anderem Ende die Pleuelſtange G befeſtigt iſt, welche die Umdrehung der Kurbel bewirkt.

Auch hier geſchieht die Führung des Schiebers durch eine excentriſche Scheibe, und der Regulator dieſer Maſchine wirkt ganz in ähnlicher Weiſe, wie bei der Hochdruckmaſchine.

Die Locomotive. Fig. 524 zeigt die Anſicht einer Locomotive 256

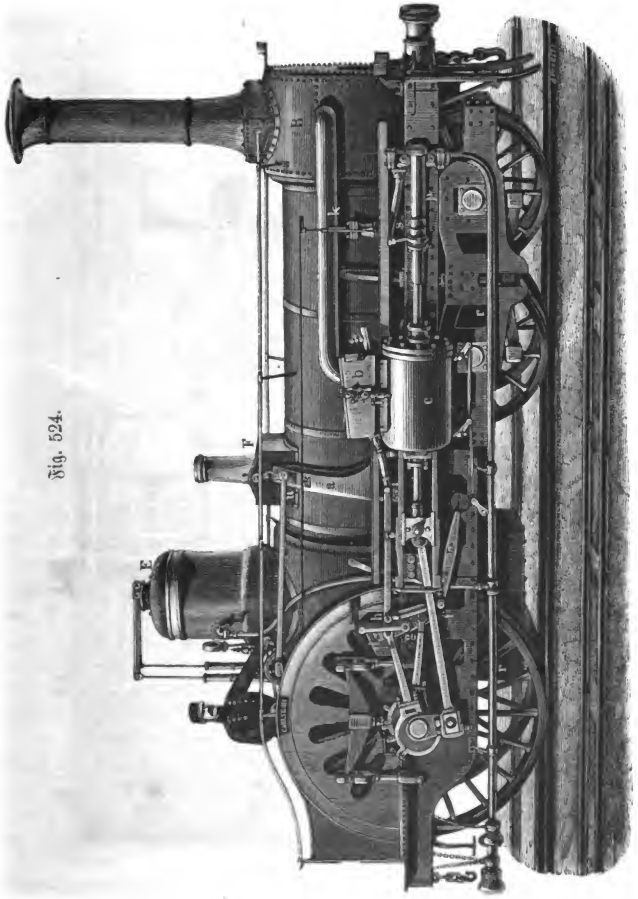


Fig. 524.

Digitized by Google

von eben so zweckmäßiger als auch übersichtlicher Construction. Die Hauptmasse der Locomotive bildet der cylindrische Dampfkessel, dessen Durchschnitt in Fig. 525 dargestellt ist und welcher später noch besprochen werden soll. Der vom Dampfkessel gelieferte Dampf gelangt durch ein Rohr, welches durch die kastenartige Verschalung a, Fig. 524, verdeckt wird, zu dem Dampfkasten b, auf dessen etwas gegen die Horizontale geneigtem Boden der Vertheilungsschieber liegt, welcher den Dampf bald auf die eine, bald auf die andere Seite des Dampfcylinders c führt. In diesem Cylinder wird dann ein Kolben bald nach der einen, bald nach der anderen Seite getrieben und die Bewegung desselben ganz in derselben Weise auf eine Kurbel übergetragen, wie wir sie bei der Dampfmaschine Fig. 515 kennen lernten, mit dem einzigen Unterschiede, daß hier der Cylinder horizontal liegt, daß sich der Kolben sammt der Kolbenstange in horizontaler Richtung hin und her bewegt, während bei der Maschine, Fig. 515, diese Bewegungen in verticaler Richtung vor sich gingen.

Man wird ohne Schwierigkeit in Fig. 524 die durch den linken Deckel des Cylinders c austretende Kolbenstange, die Pleuelstange und die Kurbel auffinden können. Die Axe dieser Kurbel bildet nun zugleich die Umdrehungsaxe der siebenfüßigen Treibräder, deren Umdrehung eben das Fortrollen der ganzen Locomotive bewirkt.

Die Führung des Vertheilungsschiebers wird auch hier durch eine excentrische Scheibe besorgt. Unsere Figur zeigt deren zwei, dicht hinter einander liegende, welche in ihrem Gange um 180^0 verschieden sind, so daß sie gleichzeitig in den entgegengesetzten extremen Stellungen ankommen. Die Stange der vorderen excentrischen Scheibe ist an dem oberen, die Stange der hinteren excentrischen Scheibe ist an dem unteren Ende des eisernen Bügels df befestigt, welcher um seinen festen Mittelpunkt g in verticaler Ebene drehbar ist. Dieser Bügel wird demnach während des Ganges der Maschine in der Weise hin- und hergezogen, daß d seine äußerste Stellung links hat, wenn f am weitesten nach rechts steht (wie es eben unsere Figur zeigt), während nach einer halben Umdrehung der Kurbelaxe umgekehrt d in die äußerste Stellung rechts, f in die äußerste Stellung links kommt.

In diesen Bügel greift nun die Stange hi ein, an deren anderem Ende die Schieberstange befestigt ist. Bei der Stellung, welche unsere Figur zeigt, hat d, also auch die Stange hi und der Schieber, die äußerste Stellung links, der Dampf tritt also auf der rechten Seite in den Cylinder ein und der Kolben wird nach der linken getrieben, so daß sich also die Kurbel sammt dem Treibrade in der Richtung drehen muß, wie die Zeiger einer Uhr, was zur Folge hat, daß die Maschine vorwärts läuft.

Um rückwärts zu fahren, wird das eine Ende h der Stange hi mittelst einer besonderen Hebelvorrichtung niedergedrückt, so daß h an das untere Ende des Bügels df kommt; dadurch wird die Führung des Schiebers der hinteren excentrischen Scheibe übertragen, welcher die entgegengesetzte Umdrehung der Kurbel entspricht.

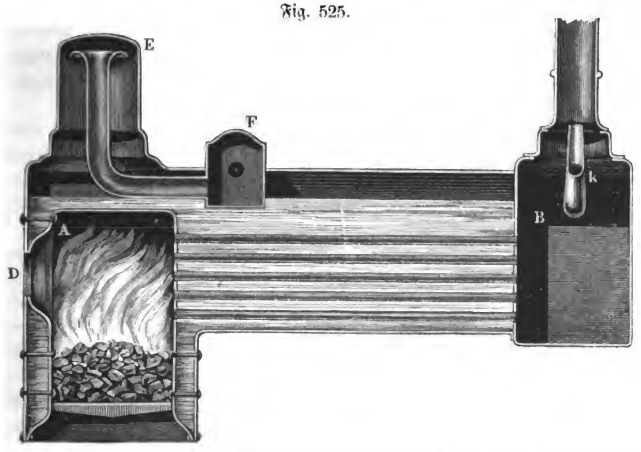
Der verbrauchte Dampf entweicht durch das Rohr k, Fig. 525, in den Schornstein.

Digitized by Google

An dem in dem Dampfcylinder *c*, Fig. 524, sich hin und her bewegenden Kolben ist auf der rechten Seite gleichfalls eine Kolbenstange befestigt, welche durch eine Stopfbüchse aus dem Cylinder austritt und an welcher unmittelbar ein etwas dickerer messingener Cylinder angesetzt ist, welcher als Kolben der Druckpumpe *p* arbeitet. Diese Druckpumpe saugt das Wasser durch das Rohr *r* aus dem Tender und preßt es durch das kurze Rohr *s* in den Kessel hinein, wodurch dann das durch die fortwährende Dampfbildung consumirte Wasser wieder ersetzt wird.

Fig. 525 zeigt einen Längendurchschnitt des Locomotivkessels. Aus dem von allen Seiten mit Wasser umgebenen Feuerraum *A*, in welchen das Brenn-

Fig. 525.



material durch die mit einer Thür verschließbare Oeffnung *D* geworfen wird, führt eine große Anzahl kupferner Röhren die erhitzte Luft durch die ganze Länge des Kessels hindurch in die Rauchkammer *B*, aus welcher sie dann in den Schornstein entweicht.

Die auf beiden Seiten der Rauchkammer *B* eintretenden Röhren *k* vereinigen sich in der Mitte zu einer gemeinschaftlichen Mündung, aus welcher der verbrauchte Dampf mit solcher Gewalt in den Schornstein einströmt, daß dadurch ein Theil der Luft aus der Rauchkammer *B* mitgerissen wird, was ein lebhaftes Nachströmen der erhitzten Luft von *A* her durch die Röhren zur Folge hat und wodurch die lebhafte Verbrennung im Feuerraume eben so erhalten wird, als ob ein ungleich höherer Schornstein auf die Rauchkammer aufgesetzt wäre.

Der in dem Kessel gebildete Dampf sammelt sich nun vorzugsweise in der Kuppel *E*, von wo er durch ein weites Rohr in das Kästchen *F* geführt wird. Von *F* führt dann auf jeder Seite ein Rohr den Dampf weiter zur Maschine. Die Mündung dieser Röhre ist durch einen Schieber verschließbar, welchen der Führer mittelst des Hebels *t u*, Fig 524, vor- und zurückschieben kann, wodurch

Digitized by Google

dann überhaupt der Dampf zur Maschine zugelassen, oder, wenn die Maschine stillstehen soll, wieder abgesperrt wird.

257 **Berechnung des Effects der Dampfmaschinen.** Es bezeichne

p die in Atmosphären ausgedrückte Spannkraft des Dampfes im Cylinder, von welcher wir annehmen wollen, daß sie der Spannkraft des Dampfes im Kessel gleich sei,

Q den Querschnitt des Kolbens in Quadratdecimetern,

L die Länge des Kolbenhubes in Decimetern, so ist

der wirksame Druck des Dampfes im Cylinder gegen 1 Quadratdecimeter . . . $103{,}3\,p$ Kilogramm

der wirksame Druck gegen den ganzen Kolben . . . . . $103{,}3\,p\,Q$ Kilogramm

die Kraftquantität, welche bei einem Kolbenschlage entwickelt wird . . . . . $10{,}33\,p\,.\,Q\,.\,L$ Meterkilogramm.

(Meterkilogramm = Kilogrammometer, Seite 143).

Demnach ergiebt sich für die Kraftquantität E, welche bei n Kolbenschlägen entwickelt wird,

$$E = 10{,}33\,p\,.\,n\,.\,Q\,L \text{ Meterkilogramm} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Das vom Kolben beschriebene Volumen ist für 1 Kolbenschlag gleich $Q\,L$, für n Kolbenschläge ist es also gleich $n\,Q\,L$ Kubikdecimeter.

Macht nun der Kolben n Kolbenschläge, während 1 Kilogramm Dampf verbraucht wird, so ist der vom Kolben unterdessen beschriebene Raum $n\,Q\,L$ gleich dem Volumen V, welches 1 Kilogramm gesättigten Wasserdampfes von der Spannkraft p einnimmt, d. h. es ist

$$V = n\,Q\,L.$$

Setzen wir V für das Product $n\,Q\,L$ in Gleichung (1), so kommt

$$E = 10{,}33\,p\,.\,V \text{ Meterkilogramm} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Dieser Werth von E ist die volle mechanische Arbeit, welche 1 Kilogramm Wasserdampf, in der angedeuteten Weise in einer Dampfmaschine verwendet, zu leisten im Stande ist.

Nach den Angaben in §. 252 S. 466 ist das Product:

$10{,}33\,p\,V$ für	1	Atmosphäre	Spannkraft	gleich 17561
„	4	„	„	„ 19627
„	10	„	„	„ 21383.

Nehmen wir an, daß eine Zeit von t Secunden nöthig sei, um im Kessel einer Dampfmaschine 1 Kilogramm Wasser zu verdampfen, so ist die in 1 Secunde geleistete mechanische Arbeit

$$e = \frac{E}{t} = \frac{10{,}33\,p\,V}{t}.$$

Da man für die Arbeit einer Pferdekraft 75 Meterkilogramm in 1 Se-

Digitized by Google

cunde annimmt, so muß für eine Dampfmaschine, deren Arbeit gleich der einer Pferdekraft sein soll, $e = 75$ Meterkilogramm, oder

$$\frac{10{,}33\, p\, V}{t} = 75$$

$$t = \frac{10{,}33\, p\, V}{75}$$

sein. Für $p = 4$ Atmosphären erhalten wir also

$$t = \frac{19627}{75} = 261'',$$

d. h. eine Dampfmaschine, welche bei einem Dampfdruck von 4 Atmosphären die Arbeit einer Pferdekraft leisten soll, wird 1 Kilogramm Wasserdampf in 261 Secunden oder nahezu $13^1/_2$ Kilogramm Wasserdampf in 1 Stunde consumiren.

Bei geringerer Spannkraft des Dampfes wird zur Erzeugung einer Pferdekraft etwas mehr, bei höherer Spannkraft wird etwas weniger als $13^1/_2$ Kilogramm Wasserdampf per Stunde nöthig sein.

Ein Theil der oben mit E bezeichneten durch den Wasserdampf in einer Dampfmaschine geleisteten Arbeit wird verwendet, um den auf der andern Seite des Kolbens lastenden Druck (bei Hochdruckmaschinen der Druck der Atmosphäre, bei Niederdruckmaschinen ein aliquoter Theil des Atmosphärendrucks) zu bewältigen, ein anderer Theil wird durch Ueberwindung von Reibungswiderständen u. s. w. consumirt. Wie groß der zu nutzbarer Verwendung übrig bleibende Theil von E ist, hängt von der mehr oder minder zweckmäßigen Construction der Maschine ab. Im Durchschnitt wird die nutzbare verwendbare Arbeit der Dampfmaschinen nicht viel mehr als $\frac{E}{2}$ betragen.

Einen großen Vortheil hat man bei den Hochdruckmaschinen durch Anwendung der Expansion des Dampfes im Cylinder erlangt, welche dadurch hervorgebracht wird, daß der Dampfzufluß abgesperrt wird, wenn der Kolben erst einen Theil seines Weges, etwa $^1/_2$, $^2/_3$ u. s. w., zurückgelegt hat. Daß durch Anwendung des Expansionsprincips bei gleichem Dampfverbrauche ein größerer Effect hervorgebracht wird, läßt sich durch folgende einfache Betrachtung einsehen.

In einen Dampfcylinder ströme während des ganzen Kolbenhubes, wie dies bei gewöhnlichen Maschinen der Fall ist, Dampf ein, dessen Spannkraft wir zu 2 Atmosphären annehmen wollen, so ist am Ende des Kolbenhubes der ganze Cylinder mit Dampf von 2 Atmosphären Spannkraft gefüllt, und während dieses Kolbenhubes ist ein mechanischer Effect hervorgebracht worden, den wir mit E bezeichnen wollen.

Ließe man nun in denselben Cylinder Dampf von doppelter, also von 4 Atmosphären Spannkraft eintreten, so würde der Druck gegen den Kolben doppelt so groß sein, und der mechanische Effect E würde schon hervorgebracht worden sein, wenn der Kolben erst den halben Hub vollendet hat, wenn er in

Digitized by Google

der Mitte des Cylinders angekommen ist. Wird nun in diesem Momente der fernere Zufluß des Dampfes in den Cylinder abgesperrt, so wird der Kolben die übrige Hälfte seines Weges fortsetzen, während der Druck, der ihn treibt, nach und nach bis zur Hälfte abnimmt; denn wenn er am Ende seiner Bahn ankommt, so ist die Spannkraft des Dampfes noch 2 Atmosphären.

Da schon während der ersten Hälfte des Kolbenhubes der mechanische Effect E hervorgebracht worden ist, so ist der ganze Effect, welchen der Dampf während der zweiten Hälfte des Kolbenhubes hervorbringt, während er sich also so ausdehnt, daß seine Spannkraft von 4 Atmosphären bis zu 2 Atmosphären abnimmt, als Gewinn zu betrachten; denn die Quantität des Dampfes, welche am Ende des Kolbenhubes den Cylinder erfüllt, ist gerade eben so groß, als ob während des ganzen Kolbenhubes Dampf von 2 Atmosphären Spannkraft eingeströmt wäre.

Die verschiedenen Vorrichtungen, durch welche eine rechtzeitige Absperrung des Dampfes in den Expansionsmaschinen bewirkt wird, können wir hier nicht näher betrachten.

Ausführlicher wird die Berechnung des Effects der Dampfmaschinen im Supplementband (§. 112 Seite 248 bis 257) besprochen.

258 **Abhängigkeit des Siedepunktes vom Drucke.** Die Verwandlung der Flüssigkeiten in gasförmige Körper nennt man im Allgemeinen Verdampfung. Die Flüssigkeiten verdampfen entweder durch das Kochen, wenn sich durch die ganze Masse der Flüssigkeit Dämpfe bilden, oder durch Verdunsten, wenn die Dampfbildung bloß an der Oberfläche vor sich geht.

Wenn man das Kochen einer Flüssigkeit beobachtet, sieht man in der Regel nur eine mehr oder minder heftige Bewegung aller Theilchen; wenn man aber die Flüssigkeit in einem gläsernen Gefäße kochen läßt, so sieht man wie die Dampfblasen sich an den wärmeren Gefäßwänden bilden und in die Höhe steigen. Anfangs klein, nehmen sie an Volumen zu, je mehr sie steigen. An den heißesten Stellen der Wand folgen die Blasen am schnellsten auf einander. Damit sich die Blasen in der Flüssigkeit bilden können, welche doch von allen Seiten einen Druck auf sie ausübt, muß der Dampf, welcher die Blasen ausfüllt, offenbar eine Spannkraft haben, welche dem Drucke der Umgebung das Gleichgewicht hält. Die erste Bedingung des Kochens ist also, daß die Temperatur so hoch ist, daß die Spannkraft der Dämpfe den von allen Seiten auf die zu bildenden Dampfblasen wirkenden Druck aushalten kann. Eine zweite Bedingung ist die, daß genug Wärme vorhanden sei, welche bei der Dampfbildung als latente Wärme absorbirt wird.

Aus der ersten Bedingung folgt, daß der Siedepunkt einer Flüssigkeit mit dem auf ihr lastenden Drucke sich ändert, aus der zweiten aber, daß die Schnelligkeit des Kochens von der Wärmemenge abhängt, welche in einer gegebenen Zeit durch die Gefäßwände hindurch der Flüssigkeit zugeführt wird.

Am Spiegel des Meeres und unter dem mittleren Drucke von 760 Millimetern kocht das reine Wasser bei 100°; auf dem Gipfel des Montblanc, in

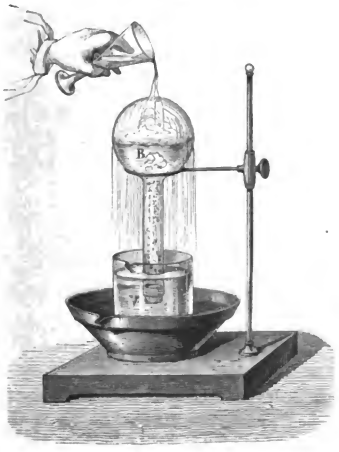
Digitized by Google

einer Höhe von 4775 Metern, wo der Druck der Atmosphäre nur noch 417 Millimeter beträgt, kocht das Wasser schon bei einer Temperatur, bei welcher die Spannkraft des Wasserdampfes 417 Millimeter beträgt, d. h. ungefähr bei 84°. In noch größerer Höhe würde das Wasser bei noch niedrigerer Temperatur sieden. Wenn man die Tafel für die Spannkraft der Dämpfe einer Flüssigkeit hat, so kann man leicht die Temperatur des Siedepunktes bei gegebenem Drucke finden; denn es ist derjenige Temperaturgrad, für welchen die Spannkraft des gesättigten Dampfes jenem Drucke gleich ist.

Bei einem Drucke von 30 Millimetern ist die Siedetemperatur des Wassers 30°, weil bei dieser Temperatur die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes 30 Millimeter ist. Unter einem Drucke von 10 Millimetern siedet das Wasser bei 11°, unter einem Drucke von 5 Millimetern bei 0°.

Die Wahrheit dieser Folgerungen läßt sich leicht durch den Versuch nachweisen. Man bringt warmes Wasser in einem Glasgefäße unter den Recipienten der Luftpumpe. Nach einigen Kolbenzügen nun beginnt das Kochen mit Heftigkeit gerade so, als ob das Wasser an freier Luft über einem lebhaften Feuer stände. Dieses Sieden hört aber bald auf, weil der Dampf den Recipienten erfüllt und selbst auf die Flüssigkeit drückt; ein neuer Kolbenzug aber nimmt diesen Dampf wieder weg und macht, daß das Kochen von Neuem beginnt. Mit unseren Luftpumpen ist es nicht möglich, das Wasser bei 0° ins Sieden zu bringen, weil man keine Verdünnung von 2 Millimetern hervorbringen kann, indem sich beständig Dampf an der Oberfläche des Wassers bildet.

Fig. 526.



Hierher gehört auch der folgende Versuch. Ein Glasballon B mit langem Halse wird über die Hälfte mit Wasser gefüllt; wenn durch Kochen desselben alle Luft ausgetrieben ist, wird das Rohr mit einem wohlschließenden Kork geschlossen und der Apparat umgekehrt in das Wasser eines Gefäßes V eingetaucht, wie Fig. 526 zeigt. Wenn man ihn sich selbst überläßt, ist kein Sieden zu beobachten; sobald man aber kaltes Wasser auf den oberen Theil gießt, so beginnt es auf der Stelle mit großer Heftigkeit. Das kalte Wasser bringt das

Digitized by Google

Wasser im Ballon ins Kochen, weil es den Dampf im oberen Theile des Ballons verdichtet und so den auf der Flüssigkeit lastenden Druck vermindert.

Die Variationen des Siedepunktes hat man durch directe Versuche an hochgelegenen Orten der Alpen, Pyrenäen und anderer Gebirge bestätigt.

Das kochende Wasser ist also nicht an allen Orten der Erde gleich warm, und folglich ist es auch nicht überall gleich tauglich zu häuslichen Zwecken, zur Bereitung der Speisen. In Quito z. B. kocht das Wasser schon bei 90°, und diese Temperatur ist zum Kochen mancher Substanzen zu niedrig, welche eine Temperatur von 100° erfordern.

Da der Barometerstand an einem und demselben Orte beständig schwankt, so folgt, daß sich auch der Siedepunkt beständig ändert.

Wenn man den Druck auf die Flüssigkeit vermehrt, so wird dadurch das Kochen verzögert, und die Temperatur steigt, wie wir dies bereits bei dem kleinen Dampfkessel auf Seite 465 gesehen haben. Die ersten derartigen Versuche machte Papin, ein in der Mitte des 17. Jahrhunderts in Marburg lebender Gelehrter, welcher mit dem nach ihm genannten Papinianischen Topfe oder Digestor, der im Wesentlichen nichts Anderes ist als ein kleiner mit einem Sicherheitsventile versehener Dampfkessel, nicht allein die große mechanische Kraft des Dampfes nachwies, sondern auch zeigte, daß man Fleisch, Knochen u. s. w. in einem solchen Topfe bei erhöhter Temperatur und vermehrtem Drucke weit vollständiger extrahiren kann als bei der gewöhnlichen Siedetemperatur.

Wenn man in einem Gefäße Wasser ins Kochen bringt, aus welchem der Dampf nur durch verhältnißmäßig kleine Oeffnungen abziehen kann, so beobachtet man eine Erhöhung des Siedepunktes. Durch eine kleine Oeffnung kann nämlich nur dann aller Dampf, welcher durch die in jedem Momente in die Flüssigkeit übergehende Wärme erzeugt wird, ausströmen, wenn durch die größere Spannkraft des Dampfes eine größere Ausströmungsgeschwindigkeit möglich geworden ist.

In einer flüssigen Masse wirkt auf die Theilchen im Innern nicht allein der Druck, welcher auf der Oberfläche lastet, sondern auch noch das Gewicht einer Flüssigkeitssäule. Hätte man z. B. einen 32 Fuß tiefen mit Wasser gefüllten Kessel, so würde am Boden ein Druck von 2 Atmosphären stattfinden, und hier würden sich also erst bei einer Temperatur von 121,4° Dampfblasen bilden können. Da aber die Temperatur der flüssigen Schichten an der Oberfläche nicht über 100° steigen kann, so wird die Flüssigkeit vom Boden, ihres geringeren specifischen Gewichtes wegen, fortwährend aufsteigen. Weil der Druck mit dem Steigen abnimmt, bilden sich Dampfblasen, ihre Temperatur nimmt aber allmälig von 121° bis 100° ab. Die Dampfblasen, welche sich in der Tiefe bilden, nehmen an Größe um so mehr zu, je höher sie steigen, weil der Druck, welcher auf sie wirkt, immer geringer wird. Diese Erscheinungen beobachtete man selbst schon in kleinen Gefäßen, in welchen das Wasser nur einige Zoll tief ist. — Bevor das vollständige Kochen beginnt, bilden sich an dem Boden schon Dampfblasen, welche aber beim Aufsteigen sich plötzlich wieder verdichten, weil sie in Wasserschichten kommen, deren Temperatur noch

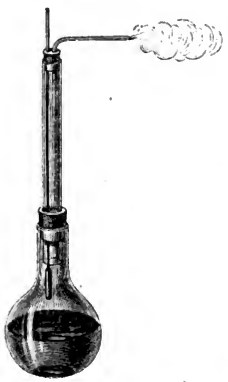
Digitized by Google

zu niedrig ist. Daher rührt das eigenthümliche Geräusch, welches man einige Augenblicke vor dem vollständigen Kochen wahrnimmt. Wenn man den Versuch in einem Glaskolben anstellt, so beobachtet man, wie sich die Blasen am Boden bilden, wie sie steigen und alsbald verschwinden. Man sagt alsdann, das Wasser *singt*. Das Singen ist ein Zeichen des bald erfolgenden vollständigen Kochens.

Auch durch Substanzen, welche im Wasser aufgelöst sind, wird das Sieden verzögert; so siedet eine gesättigte Lösung von Kochsalz erst bei 108,4°, eine Lösung von Salpeter bei 116°; eine gesättigte Lösung von essigsaurem Kali erst bei 169°, von salpetersaurem Ammoniak erst bei 180°.

Siedepunkte verschiedener Flüssigkeiten. So wie der Schmelzpunkt nicht für alle Substanzen derselbe ist, so ist auch bei gleichem Drucke der Siedepunkt verschiedener Flüssigkeiten sehr ungleich. Um ihn zu bestimmen, kann man sich eines nach der Art der Fig. 527 zusammengesetzten Apparates bedienen. Die folgende Tabelle enthält die Siedepunkte mehrerer Flüssigkeiten für einen Barometerstand von 760^{mm}: 259

Fig. 527.



Cyangas	—	18° C.
Schweflige Säure. . .	—	10 „
Schwefeläther	+	37,8 „
Schwefelkohlenstoff . .		47,0 „
Alkohol		79,7 „
Wasser		100 „
Terpentinöl		157 „
Quecksilber		350 „

Verdunstung nennt man die Bildung von Dampf an der freien Oberfläche der Flüssigkeit, während, wie wir gesehen haben, das *Kochen* darin besteht, daß sich auch im Inneren der flüssigen Masse Dampf bildet. Das Wasser verdampft an der Oberfläche der Flüsse, Seen und Meere, es verdampft an der Oberfläche des feuchten Bodens, an den Pflanzen. Offenbar hat der sich so bildende Wasserdampf keine Spannkraft, welche stark genug ist, um den Druck der atmosphärischen Luft zu überwinden. Die alltäglichsten Beobachtungen zeigen uns, daß sich bei jeder Temperatur Wasserdampf bildet, und daß er sich auch bei der schwächsten Tension doch in den Lüften verbreitet. In einem lufterfüllten Raume kann sich gerade eben so viel Wasserdampf verbreiten, wie in einem gleichgroßen luftleeren Raume unter sonst gleichen Umständen. Der Wasserdampf, so schwach seine Spannkraft auch sein mag, mischt sich mit der Luft, wie sich zwei Gase mischen. Die einzige Bedingung also, welche erfüllt sein muß, damit eine Flüssigkeit verdunsten kann, ist die, daß die umgebenden 260

Digitized by Google

Luftschichten nicht mit Dampf gesättigt sind; da ferner bei der Mischung zweier Gase die Moleküle des einen ein mechanisches Hinderniß für die Verbreitung des anderen bilden, so kommt es, daß bei der Verdunstung die Luft ein Hinderniß für die schnelle Verbreitung des Dampfes ist. In einer vollkommen ruhigen Atmosphäre geht deshalb die Verdunstung nur langsam vor sich, während bei bewegter Luft die Verdunstung weit rascher vor sich geht, indem die Flüssigkeit stets mit neuen Luftschichten in Berührung kommt, die noch nicht mit Dampf gesättigt sind. Daher kommt es, daß, wenn ein trockener Wind mit Lebhaftigkeit weht, das Wasser sehr rasch verdunstet.

261 **Latente Wärme der Dämpfe.** Wenn eine Flüssigkeit verdampft, so muß sie Wärme absorbiren; diese beim Verdampfen absorbirte Wärme ist für das Gefühl und für das Thermometer ebenso verschwunden wie die Wärme, welche beim Schmelzen gebunden wird.

Daß bei der Dampfbildung Wärme gebunden wird, geht schon daraus hervor, daß die Temperatur einer Flüssigkeit während des Kochens unverändert bleibt. Die Temperatur des siedenden Wassers bleibt 100°, wie sehr wir auch das Feuer verstärken mögen; alle Wärme, welche man dem siedenden Wasser zuführt, dient nur dazu, das Wasser von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln.

Das Binden von Wärme beim Verdampfen der Flüssigkeiten läßt sich leicht dem Gefühle merklich machen; man gieße nur einige Tropfen einer leicht verdampfenden Flüssigkeit, etwa Weingeist oder Schwefeläther, auf die Hand, so wird man ein Gefühl von Kälte haben, weil der Hand die zum Verdampfen der Flüssigkeit nöthige Wärme entzogen wird. Wenn man die Kugel eines Thermometers mit Baumwolle umwickelt und diese mit Schwefeläther beträpfelt, so sinkt das Thermometer um mehrere Grade.

Nachdem wir nun die Bindung der Wärme bei der Dampfbildung der Art nach kennen gelernt haben, kommt es darauf an, die latente Wärme der Dämpfe auch der Größe nach zu bestimmen, d. h. zu ermitteln, wieviel Wärme nöthig ist, um eine bestimmte Menge irgend einer Flüssigkeit in Dampf zu verwandeln.

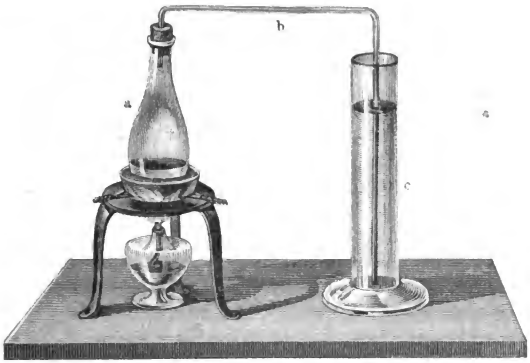
In Fig. 528 stelle a einen Glaskolben vor, in welchem Wasser mit Hülfe einer Weingeistlampe kochend erhalten wird; wenn nun die sich bildenden Dämpfe durch ein Glasrohr b in ein cylindrisches Gefäß c geleitet werden, welches mit kaltem Wasser gefüllt ist, so werden die Dämpfe hier verdichtet, die Wärme also, welche bei der Bildung der Dämpfe in a gebunden wurde, muß in c wieder frei werden, das kalte Wasser in c wird also allmälig erwärmt, und aus der hier hervorgebrachten Temperaturerhöhung kann man auf die Größe der latenten Wärme der Dämpfe schließen.

Nehmen wir an, das Kochen im Gefäße a habe schon einige Zeit gedauert, so daß alle Luft aus dem Gefäße ausgetrieben ist, und nun erst tauche man das Ende des gekrümmten Rohres in das kalte Wasser des Cylinders c, so werden alle Dampfblasen alsbald verdichtet, so wie sie mit dem kalten Wasser in Berührung kommen. In dem Maße aber, als das Wasser in c wärmer

Digitized by Google

wird, werden die Dampfblasen größer, bis endlich, wenn auch das Wasser in *c* zur Siedhitze erwärmt ist, die Dampfblasen unverdichtet durch die ganze Flüs-

Fig. 528.



sigkeitsmasse aufsteigen, also in *c* selbst ein förmliches Kochen stattfindet. In dem Augenblicke, in welchem das Kochen in *c* beginnt, wird der Versuch unterbrochen, indem man das Gefäß *a* entfernt.

Gesetzt nun, in *c* hätten sich zu Anfange des Versuches 11 Cubikzoll Wasser von 0° befunden, so wird der Cylinder *c* jetzt, nach Beendigung des Versuches, 13,1 Cubikzoll Wasser von 100° enthalten; es sind also 2,1 Cubikzoll Wasser hinzugekommen. Diese 2,1 Cubikzoll Wasser sind im Gefäße *a* verdampft und im Cylinder *c* verdichtet worden; die latente Wärme, welche in *a* gebunden wurde, ist in *c* wieder frei geworden und hat hier die 11 Cubikzoll Wasser von 0° auf 100° erwärmt; dieselbe Wärmemenge also, welche bei der Verdampfung von 2,1 Cubikzoll Wasser absorbirt wird, reicht hin, um die Temperatur von 11 Cubikzoll Wasser von 0° bis 100° zu erhöhen. Nun aber verhalten sich 2,1 zu 11 wie 1 zu 5,2; wir können das Resultat unseres Versuches also auch folgendermaßen ausdrücken: Die Wärmemenge, welche nöthig ist, um eine bestimmte Quantität Wasser von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln, reicht hin, um die Temperatur einer 5,2mal so großen Wassermasse von 0° auf 100° zu erhöhen.

Wir haben oben angeführt, daß man als Einheit der Wärmemengen diejenige Wärmequantität annimmt, welche erforderlich ist, um die Temperatur von 1 Gramm Wasser um 1° zu erhöhen; um die Temperatur von 5,2 Gramm Wasser um 1° zu erhöhen, sind also 5,2, und um die Temperatur dieser Wassermasse um 100° zu erhöhen, wären demnach 520 solcher Wärmeeinheiten nöthig.

Die latente Wärme von 1 Gramm Wasserdampf ist demnach gleich 520.

Der eben angeführte Versuch ist nun nicht geeignet, die latente Wärme des Wasserdampfes genau zu bestimmen, er wird immer mehr oder weniger unrich-

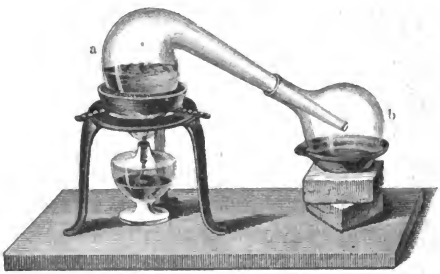
Digitized by Google

tige Resultate geben; er ist aber sehr geeignet, den Zusammenhang der Sache recht anschaulich zu machen. Was die Resultate dieses Versuches besonders ungenau macht, ist der Umstand, daß bei der hohen Temperatur, zu welcher man das Wasser im Cylinder *c* erheben muß, ein bedeutender Wärmeverlust an die Umgebung stattfindet; dann aber wird auch eine nicht unbedeutende Quantität Wasserdampf schon im Rohre *b* verdichtet, giebt hier schon seine frei werdende Wärme an die Luft ab, und kommt als Wasser im Cylinder *c* an; man begreift also leicht, daß, bis das Wasser in *c* ins Kochen kommt, mehr Wasser aus dem Gefäße *a* herübergekommen sein wird, als es der Fall sein würde, wenn diese beiden Fehlerquellen nicht vorhanden wären; dieser Versuch wird also in der Regel einen zu kleinen Werth für die latente Wärme des Wasserdampfes geben. Wir können hier die genaueren Methoden zur Bestimmung dieser Größe nicht näher auseinandersetzen.

Bei der Destillation werden die in irgend einem Gefäße durch Erwärmung gebildeten Dämpfe an einen Ort geleitet, welcher durch kaltes Wasser beständig abgekühlt wird, wodurch dann die Dämpfe wieder condensirt, d. h. in tropfbare Flüssigkeit verwandelt werden.

Eine der einfachsten Vorrichtungen zur Destillation ist die in Fig. 529 abgebildete. Die durch irgend welche fremde, weniger flüchtige Substanzen ver-

Fig. 529.



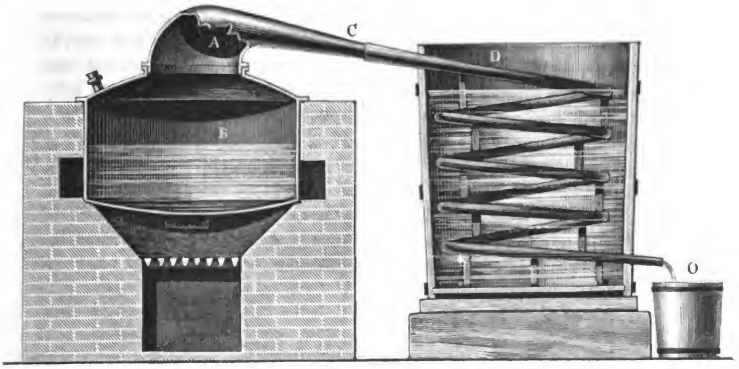
unreinigte Flüssigkeit, welche durch Destillation gereinigt werden soll, wird in der Retorte *a* erwärmt, deren Hals in der Vorlage *b* steckt. Diese Vorlage wird dadurch kühl gehalten, daß sie in einer Schale mit kaltem Wasser liegt. Der besseren Abkühlung wegen wird auch Löschpapier oder ein Leinwandlappen auf die Vorlage gelegt und auf diesen fortwährend kaltes Wasser getröpfelt. Die in der Retorte *a* gebildeten Dämpfe werden theils schon in dem Halse der Retorte, theils in der Vorlage selbst verdichtet und sammeln sich in der letzteren.

Fig. 530 stellt einen Apparat dar, wie er zu Destillationen in größerem Maßstabe gebraucht wird. Das Gemisch, aus welchem eine Flüssigkeit durch Destillation gewonnen werden soll, befindet sich in der meist aus Kupferblech verfertigten Blase *B*. Auf dieser sitzt der Helm *A*, welcher mit einem in das Kühlrohr *D* mündenden Rohre *C* versehen ist. Das schraubenförmig gewun-

Digitized by Google

dene Kühlrohr befindet sich in einem mit kaltem Wasser gefüllten Bottich. Die durch Condensation der Dämpfe im Kühlrohre gebildete Flüssigkeit fließt bei *o* aus demselben in ein untergestelltes Gefäß ab.

Fig. 530.



Bei der Condensation der Dämpfe wird ihre bis dahin gebunden gewesene latente Wärme wieder frei, und diese freigewordene Wärme geht in das Kühlwasser über, woher es kommt, daß dasselbe sehr schnell erwärmt wird. Weil aber die Condensation der Dämpfe im Kühlrohre um so vollständiger erfolgt, je kälter das Kühlwasser ist, so muß dafür gesorgt werden, daß in dem Kühlfasse durch ein eigenes Rohr unten stets kaltes Wasser einströmt, während in gleichem Maße oben das bereits erwärmte Wasser abfließt.

Man könnte nun mit jedem Destillirapparate den Werth der latenten Wärme der Dämpfe bestimmen, wenn es möglich wäre, jederzeit genau zu ermitteln, wie viel Dampf in einer gegebenen Zeit verdichtet worden ist und wie viel Wärme er an das Kühlwasser abgegeben hat; um die latente Wärme der Dämpfe genau zu bestimmen, hat man also nur einen Destillirapparat so einzurichten, daß sich diese Größen mit Genauigkeit ermitteln lassen. Nach diesem Principe ist in der That die latente Wärme der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten ermittelt worden. Es ist die latente Wärme für den Dampf von

Wasser	540
Alkohol	214
Schwefeläther	90,

d. h. um ein Gramm dieser Flüssigkeiten bei dem Drucke einer Atmosphäre in Dampf zu verwandeln, wird 540-, 214-, 90mal so viel Wärme gebunden, als nöthig ist, um die Temperatur von 1 Gramm Wasser um 1° zu erhöhen.

Digitized by Google

Die latente Wärme der Dämpfe ist nicht für alle Temperaturen dieselbe; sie ist größer für niedrige, geringer für hohe Temperaturen.

262 **Erzeugung von Kälte durch Verdampfung.** Wenn eine Flüssigkeit an freier Luft kocht, so behält sie eine constante Temperatur, weil sie von dem Feuer durch die Wände des Gefäßes stets so viel Wärme erhält, als durch die Dampfbildung absorbirt wird. Wenn das Kochen aber unter dem Recipienten der Luftpumpe vor sich geht, so sinkt die Temperatur fortwährend, weil alsdann der Dampf die zu seiner Bildung nöthige latente Wärme aus der Flüssigkeit selbst und aus den umgebenden Körpern nehmen muß.

Gießt man etwas Weingeist oder noch besser Schwefeläther auf die Hand, so fühlt man eine merkliche Erkaltung, weil die Flüssigkeit die zu ihrer Verdunstung nöthige Wärme aus der Hand nimmt. — Wenn wir an heißen Tagen in Zugluft treten, so fühlen wir alsbald eine erfrischende Kühle. Es ist dies keineswegs die Folge davon, daß uns der Zug kalte Luft zuführt; die an uns vorüberstreichende Luft mag, wie wir uns durch das Thermometer überzeugen können, sehr warm sein, der Zug bringt uns doch diese Abkühlung, weil er eine lebhafte Verdunstung auf der Haut erhält. — Wir haben das Gefühl einer drückenden Schwüle, wenn wir uns in einer mit Feuchtigkeit gesättigten windstillen Atmosphäre befinden, in welcher keine Verdunstung an unserem Körper stattfinden kann.

Wenn man die Kugel eines Thermometers mit Baumwolle umwickelt, dieselbe mit Schwefeläther befeuchtet und dann rasch das Thermometer hin und her schwenkt, so sinkt es noch einige Grade unter den Gefrierpunkt.

Unter den verschiedenen Methoden, durch rasche Verdampfung von Aether oder Schwefelkohlenstoff Wasser zum Gefrieren zu bringen, ist die folgende die einfachste: Man bringe einige Tropfen Wasser auf ein Brettchen, Fig. 531, setze darauf ein dünnwandiges Schälchen von Kupferblech und gieße etwas Aether oder Schwefelkohlenstoff hinein. Bewirkt man alsdann dadurch eine rasche Verdampfung dieser flüchtigen Flüssigkeit, daß man mit einem gewöhnlichen Küchenblasebalge darauf bläst, so gefriert alsbald das Wasser unter dem Schälchen,

Fig. 531.

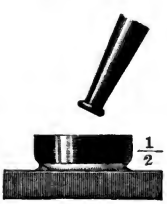


Fig. 532.

so daß dieses mit dem Brette nun fest zusammenhängt.

In Wollaston's Kryophor gefriert das Wasser durch seine eigene Verdampfung. Zwei Glaskugeln A und B, Fig. 532, sind durch eine möglichst weite Röhre verbunden. Aus dem Innern des Apparates, welcher eine entsprechende Menge Wasser enthält, muß alle Luft ausgetrieben sein, was dadurch

Digitized by Google

erreicht wird, daß man das Wasser in beiden Kugeln im Kochen erhält, und nachdem dasselbe eine Zeit lang unterhalten worden ist, die Oeffnung bei *c*, durch welche die Dämpfe entweichen, mit Hülfe eines Löthrohres zuschmilzt. Wenn man nun in dem so hergestellten Apparate alles Wasser in einer Kugel *A* zusammenlaufen läßt und dann die andere Kugel *B* in eine Kältemischung taucht, so wird durch die fortwährend in *B* erfolgende Verdichtung der Wasserdämpfe in der Kugel *A* eine so rasche Verdunstung hervorgerufen, daß das Wasser gefriert.

Die durch Verdampfung einer Flüssigkeit hervorgebrachte Temperaturerniedrigung ist um so bedeutender, je niedriger ihr Siedepunkt liegt und je größer die latente Wärme ihres Dampfes ist. Die bedeutendsten Temperaturerniedrigungen werden durch Verdampfen solcher Flüssigkeiten erzeugt, deren Siedepunkt noch unter 0° liegt; so kann man z. B. durch rasches Verdampfen von schwefliger Säure, deren Siedepunkt — 10° ist, selbst Quecksilber zum Gefrieren bringen. Kohlensäure kann durch starke Compression in einem schmiedeeisernen Recipienten flüssig gemacht werden. Wenn man nun die flüssige Kohlensäure aus einer feinen Oeffnung ausströmen läßt, so ist die bei ihrer raschen Verdampfung stattfindende Temperaturerniedrigung so stark, daß ein Theil der ausströmenden Kohlensäure fest wird und in einem entsprechenden Gefäße als schneeartige Masse gesammelt werden kann, deren Temperatur 90° C. unter dem Gefrierpunkte des Wassers liegt.

Digitized by Google

Drittes Capitel.

Specifische Wärme der Körper.

---

263 **Begriff der specifischen Wärme.** Wenn man 1 Pfund Wasser von 10° mit 1 Pfund Wasser von 60° rasch mischt, so wird die Mischung nahezu die mittlere Temperatur von 35° haben. Dieselbe Wärmemenge, welche das eine Pfund Wasser abgab, um von 60 auf 35°, also um 25° zu erkalten, hat auch gerade hingereicht, um die Temperatur des anderen Pfundes Wasser um eben so viel Grade, nämlich von 10 auf 35°, zu erhöhen.

Anders verhält sich die Sache, wenn wir 1 Pfund Wasser mit 1 Pfund irgend einer anderen Substanz mengen. Gießt man z. B. 1 Pfund Wasser von 10° und 1 Pfund Terpentinöl von 60° zusammen, so wird die wohl durch einander gerüttelte Mengung nur eine Temperatur von ungefähr 24° zeigen.

Die Wärmemenge, welche 1 Pfund Terpentinöl bei einer Temperaturerniedrigung von 36° C. abgegeben hat, genügte also nur, um die Temperatur von 1 Pfund Wasser um 14° C. zu erhöhen. Um also die Temperatur des Terpentinöls um eine bestimmte Anzahl von Graden zu erhöhen, bedarf es nur $\frac{14}{36}$ oder ungefähr 0,4 von der Wärmemenge, welche nöthig ist, um in einer gleichen Masse Wasser die gleiche Temperaturerhöhung hervorzubringen.

Aehnlich mit anderen Stoffen. Um gleiche Massen Wasser und Quecksilber um gleich viel Grade zu erwärmen, bedarf man für das letztere nur 0,033 der Wärmemenge, welche für das erstere erforderlich ist. Um gleiche Temperaturerhöhung zu bewirken, muß man dem Wasser 30mal so viel Wärme zuführen, als einer gleichen Masse Quecksilber.

Unter der specifischen Wärme eines Körpers versteht man die Zahl der Wärmeeinheiten (Calorien) (Seite 454), welche nöthig sind, um die Temperatur von 1 Gramm der Substanz um 1° C. zu erhöhen.

Den eben gemachten Angaben zufolge wäre also 0,033 die specifische Wärme des Quecksilbers und 0,4 die des Terpentinöls.

Digitized by Google

Gleichbedeutend mit „specifischer Wärme“ wird auch der Ausdruck Wärmecapacität gebraucht.

Um den Werth der specifischen Wärme für verschiedene Körper zu ermitteln, hat man hauptsächlich drei Methoden in Anwendung gebracht, die wir nun der Reihe nach betrachten wollen.

Nach der Methode des Eisschmelzens wird der Körper, dessen specifische Wärme bestimmt werden soll, gewogen und bis zu einer bestimmten Temperatur erwärmt in ein mit Eisstücken gefülltes Gefäß gebracht. Indem er nun erkaltet, wird ein Theil des Eises geschmolzen; aus der Menge des geschmolzenen Eises ergiebt sich dann die Quantität der Wärme, welche der Körper verlor, und daraus dann auch seine specifische Wärme.

Die Erkaltungsmethode gründet sich auf folgendes Princip. Wenn ein erwärmter Körper in einen Raum gebracht wird, in welchem er nur durch Strahlung erkalten kann, so wird er unter übrigens gleichen Umständen um so langsamer erkalten, je größer seine specifische Wärme ist.

Die genauesten Resultate liefert die Mischungsmethode, die wir auch etwas näher betrachten wollen. Diese Methode besteht im Wesentlichen darin, daß man eine gewogene Menge des zu untersuchenden Körpers bis auf eine bestimmte Temperatur erwärmt und dann in ein Gefäß mit Wasser eintaucht, dessen Temperatur durch Abkühlung jenes Körpers erhöht wird; kennt man die Quantität des Kühlwassers und hat man ermittelt, welche Temperaturerhöhung es durch die Abkühlung des eingetauchten Körpers erleidet, so läßt sich daraus die specifische Wärme dieses Körpers berechnen.

Wenn eine 200 Gramm schwere, bis auf 100° erwärmte Platinkugel in eine 15° warme Wassermasse von 105 Grammen eingetaucht wird, so findet man, daß nach vollständiger Ausgleichung sowohl die Temperatur des Wassers als die der Kugel 20° beträgt. Die Temperatur der Kugel ist also um 80° erniedrigt, die des Wassers um 5° erhöht worden. Die Wärmemenge, welche in diesem Falle dem Wasser zugeführt wurde, ist 105.5 Wärmeeinheiten, und wenn wir mit c die Wärmemenge bezeichnen, welche nöthig ist, um die Temperatur von 1 Gramm Platin um 1° zu erhöhen, die Wärmemenge also, welche jedes Gramm Platin bei einer Temperaturerniedrigung von 1° abgiebt, so ist die gesammte Wärmemenge, welche die Platinkugel bei den obigen Operationen abgegeben hat, $200.80.c$; wir haben also:

$$200.80.c = 105.5$$

oder:

$$c = \frac{525}{16000} = 0{,}0328;$$

das Platin bedarf also, um eine gleiche Temperaturerhöhung zu erfahren, einer 0,0328mal so großen Wärmemenge als das Wasser, oder, mit anderen Worten, die specifische Wärme des Platins ist 0,0328.

Bezeichnen wir mit m das Gewicht und mit t die Temperaturerhöhung des Kühlwassers (in dem eben berechneten Beispiele 105 Gramme und 5°), mit m' und t' das Gewicht und die Temperaturerniedrigung des abgekühlten

Digitized by Google

Körpers (in unserem Beispiele 200 Gramm Platin und 80°), so ergiebt sich aus der eben für einen concreten Fall durchgeführten Betrachtungsweise für die Berechnung der specifischen Wärme c des abgekühlten Körpers folgende Formel:

$$c = \frac{m_{,} t}{m' t'} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 1)$$

das heißt in Worten, man findet die specifische Wärme des abgekühlten Körpers, wenn man sein Gewicht mit seiner Temperaturerniedrigung multiplicirt und mit diesem Producte in das Product dividirt, welches man erhält, wenn das Gewicht des Kühlwassers mit seiner Temperaturerhöhung multiplicirt wird.

264 **Resultate der Versuche über die specifische Wärme.** Die Bestimmung der specifischen Wärme erhielt durch die Arbeiten von Dulong und Petit eine große Wichtigkeit für die Chemie, indem sie fanden, daß das Product, welches man erhält, wenn man die specifische Wärme eines Elementes mit seinem Atomgewichte multiplicirt, stets sehr nahe denselben Werth habe, wie man aus folgender Tabelle ersieht, in welcher die specifische Wärme und das Atomgewicht für einige Metalle zusammengestellt sind.

	Specifische Wärme.	Atomgewicht.	Product.
Eisen	0,114	339	38,6
Zink	0,095	403	38,5
Kupfer	0,095	396	37,8
Blei	0,031	1294	40,6
Silber	0,057	676	38,5
Platin	0,032	1233	40,0
Quecksilber . . .	0,033	1250	41,2

Die specifische Wärme metallischer Elemente ist demnach ihrem Atomgewicht umgekehrt proportional. Dies Gesetz, dessen Richtigkeit durch die neueren Untersuchungen Regnault's außer Zweifel gestellt worden ist, macht es möglich, das Atomgewicht eines Körpers aus seiner specifischen Wärme zu berechnen, also auch die auf anderem Wege gefundenen Werthe des Atomgewichtes zu controliren.

Für die specifische Wärme einiger Flüssigkeiten fand Regnault folgende Werthe:

Terpentinöl	0,423
Alkohol, specif. Gew. 0,807	0,602
„ „ „ 0,833	0,665
„ „ „ 0,902	0,843
Schwefelkohlenstoff	0,218.

Digitized by Google

Specifische Wärme der Gase. Für den Fall, daß die Gase bei der Erwärmung sich frei ausdehnen können, ihre Spannkraft also ungeändert bleibt, ergaben sich folgende Werthe für die specifische Wärme einiger Gase: 265

Sauerstoff	0,218
Stickstoff	0,244
Wasserstoff	3,405
Chlor	0,121
Atmosphärische Luft	0,238
Kohlensäure	0,248
Wasserdampf	0,475
Aetherdampf	0,481

Wenn aber ein Gas so eingeschlossen ist, daß es sich bei seiner Erwärmung nicht ausdehnen kann, daß also sein Volumen constant bleibt, während seine Spannkraft (Druck) wächst, so ist die specifische Wärme der Gase geringer als im vorigen Falle, d. h. um 1 Pfund Luft um 1° zu erwärmen, ist weniger Wärme nöthig, wenn sie in einem Raume von unveränderlicher Größe eingeschlossen bleibt, als wenn sie bei unverändertem Drucke sich ausdehnen kann. Bezeichnen wir mit c die specifische Wärme eines Gases bei constantem Drucke, mit c' seine specifische Wärme bei constantem Volumen, so ist

$$\frac{c}{c'} = 1{,}41.$$

Fig. 533.

Daraus folgt nun aber auch, daß jede Verdünnung eines Gases mit einer Wärmebindung begleitet ist und daß Wärme frei werden muß, wenn man ein Gas comprimirt, wie dies namentlich durch das pneumatische Feuerzeug erläutert werden kann. Dieser Apparat besteht aus einer gläsernen oder messingenen unten geschlossenen Röhre, Fig. 533, in welcher sich ein aus Lederscheiben gebildeter, fest an die Wand anschließender Kolben leicht auf- und abschieben läßt. Das untere Ende des Kolbens ist etwas ausgehöhlt. Nachdem in diese Höhlung etwas Zunder eingelegt worden ist, wird der Kolben oben in das Rohr eingesteckt, dann durch einen kräftigen Schlag fast bis auf den Boden des Rohres hinabgetrieben und rasch wieder herausgezogen. Man findet nach dieser Operation, daß der Feuerschwamm in der Höhlung des Kolbens brennt; es muß also durch die starke Compression der in der Röhre eingeschlossenen Luft eine bedeutende Menge Wärme frei geworden sein.

Digitized by Google

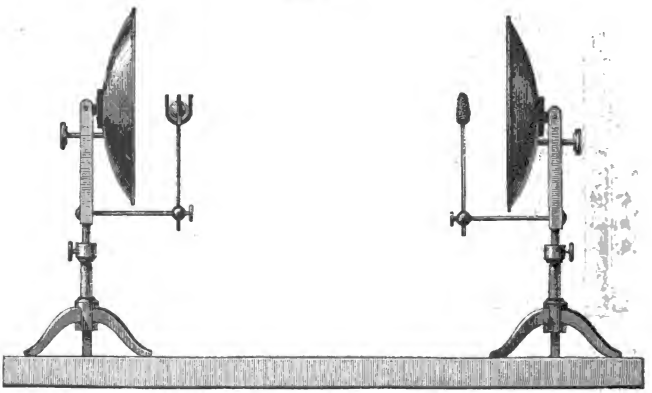
Viertes Capitel.

Fortpflanzung der Wärme.

266 **Strahlende Wärme.** Die strahlende Wärme durchdringt gewisse Körper in derselben Weise, wie das Licht durch die durchsichtigen Körper hindurchgeht; die Sonnenstrahlen z. B. treffen unsere Erde, nachdem sie die ganze Atmosphäre durchdrungen haben, sie erwärmen die Erdoberfläche, während die höheren Regionen der Luft kalt bleiben; die Wärmestrahlen gehen also größtentheils durch die Atmosphäre hindurch, ohne von ihr absorbirt zu werden. Wenn man sich dem Feuer eines Heerdes nähert, so empfindet man eine brennende Hitze, und doch ist die Luft zwischen uns und dem Feuer nicht bis zu einem solchen Grade erwärmt; denn wenn man einen Schirm vorhält, verschwindet diese Hitze augenblicklich, was unmöglich wäre, wenn wirklich die ganze uns umgebende Luftmasse eine so hohe Temperatur hätte. Heiße Körper können also nach allen Seiten hin Wärme aussenden, welche durch die Luft hindurchgeht wie die Lichtstrahlen durch durchsichtige Körper; man spricht deshalb von *strahlender Wärme* und von *Wärmestrahlen*, wie man von Lichtstrahlen spricht.

Wenn man zwei große sphärische oder paraboloische Hohlspiegel von polir-

Fig. 534.



tem Messingblech, Fig. 534, 5 bis 6 Meter von einander entfernt so aufstellt, daß die Axen beider Spiegel in eine Linie zusammenfallen, wenn man alsdann

Digitized by Google

in den Brennpunkt des einen Spiegels ein Stück Zunder, in den Brennpunkt des anderen aber eine fast weißglühende Eisenkugel oder eine glühende Kohle bringt, deren Verbrennung man durch einen Blasebalg lebhaft unterhält, so wird sich der Zunder alsbald entzünden, als ob er mit dem Feuer in Berührung wäre. Dieser Versuch zeigt, daß der glühende Körper Wärmestrahlen aussendet; denn es ist klar, daß der Zunder nicht etwa dadurch angezündet wurde, daß die zwischenliegenden Luftschichten allmälig so stark erhitzt worden sind. Bringt man den Zunder aus dem Brennpunkte weg, so wird er nicht mehr entzündet, wenn man ihn auch dem glühenden Körper weit näher bringt.

Bringt man an die Stelle der glühenden Kugel eine Kugel von 300° und an die Stelle des Zunders ein gewöhnliches Thermometer, so wird das Thermometer rasch steigen; also auch die Kugel von 300° sendet Wärmestrahlen aus.

Wenn man die 300° heiße Kugel mit einem Gefäße voll kochenden Wassers oder mit Wasser von 90°, 80° oder 70° vertauscht, so beobachtet man vielleicht gar keine Temperaturerhöhung mehr am Thermometer; dies beweist aber noch nicht, daß die Wände des Gefäßes bei dieser Temperatur keine Wärme mehr ausstrahlen, sondern nur, daß hier das gewöhnliche Thermometer nicht empfindlich genug ist. Man muß deshalb empfindlichere Instrumente zu Hülfe nehmen, etwa Rumford's oder Leslie's Differentialthermometer oder Melloni's Thermomultiplicator.

Rumford's Differentialthermometer, Fig. 535, besteht aus zwei Glaskugeln, *a* und *b*, welche durch eine gebogene Glasröhre, deren horizontaler Theil 3 bis 5 Decimeter lang ist, verbunden sind. In dieser Röhre befindet sich ein Index von gefärbter Flüssigkeit, auf welchen von beiden Seiten die

Fig. 535.

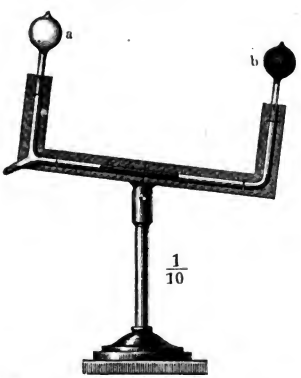


Fig. 536.

Luft der Kugeln drückt; er wird also nur dann an einer bestimmten Stelle stehen bleiben, wenn der Druck von beiden Seiten gleich ist. Wird die eine Kugel mehr erwärmt als die andere, so wird der Index gegen die kältere Kugel hingetrieben.

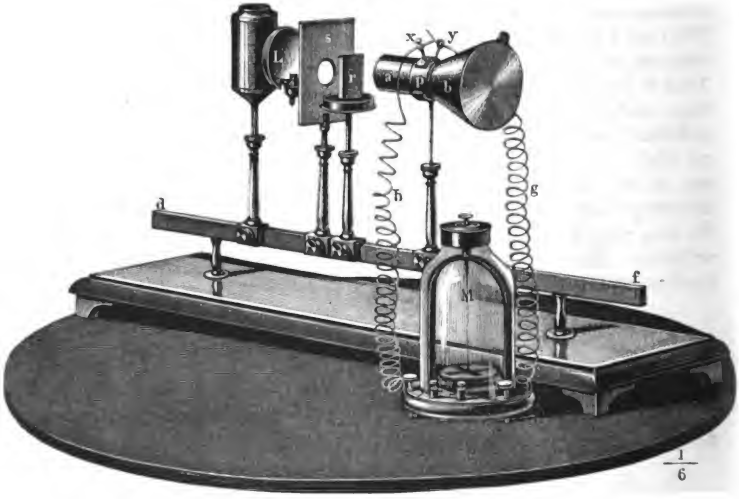
Digitized by Google

Leslie's Differentialthermometer, Fig. 536 (a. v. S.), ist auf ähnliche Weise construirt, nur sind seine Kugeln in der Regel etwas kleiner, die verticalen Arme der sie verbindenden Röhre sind länger und stehen einander näher.

Melloni's Thermomultiplicator besteht aus einer thermoelektrischen Säule, Fig. 537, wie sie schon früher beschrieben wurde, und aus einem sehr empfindlichen Multiplicator. Die Säule ist sorgfältig an beiden Enden mit Ruß geschwärzt und mit ihrer Fassung p, Fig. 538, auf ein Stativ gebracht; die Hülsen a und b dienen dazu, die Luftströmungen und die Seitenstrahlungen von der Säule abzuhalten; da die Hülse b conisch ist, so dient sie auch, um, wenn es nöthig ist, von dieser Seite her die Wärmestrahlen mehr zu concentriren. Der Kupferdraht, welcher das Galvanometer bildet, ist 7 bis 8 Meter lang und ist mit ungefähr 40 Windungen auf einen Metallrahmen aufgewunden. Im Uebrigen ist die Einrichtung des Multiplicators bereits bekannt.

Fig. 537.

Fig. 538.



Um die Verbindung zwischen der thermoelektrischen Säule und dem Multiplicator herzustellen, dienen die leicht ausdehnbaren Drahtspiralen g und h, welche bei x und y mit den beiden Enden der thermoelektrischen Säule in leitender Verbindung stehen. Die geringste Temperaturdifferenz zwischen den beiden

Digitized by Google

geschwärzten Enden der Säule bewirkt nun schon eine Ablenkung der Nadel, die man auf dem getheilten Kreise ablesen kann.

Wärmestrahlungsvermögen der Körper. Das Vermögen 267
der Körper, die Wärme auszustrahlen, ist sehr ungleich und hängt wesentlich von dem Zustande der Oberflächen ab; im Allgemeinen strahlen die Oberflächen der weniger dichten Körper unter sonst gleichen Umständen mehr Wärme aus als die Oberflächen dichter Körper. Die Ungleichheit des Strahlungsvermögens verschiedener Oberflächen hat Leslie folgendermaßen nachgewiesen: Er brachte in den Brennpunkt des einen Hohlspiegels, Fig. 534 S. 496, die eine Kugel seines Differentialthermometers, in den Brennpunkt des anderen aber einen hohlen, mit heißem Wasser gefüllten Würfel von Messingblech, dessen Seitenlänge 15 bis 18 Centimeter betrug; die eine Seitenfläche dieses Würfels war mit Ruß überzogen, eine andere polirt; wurde nun die polirte Fläche dem Spiegel zugekehrt, so war die Wirkung auf das Differentialthermometer bei Weitem geringer, als wenn man die berußte Fläche dem Spiegel zukehrte, die mit Ruß geschwärzte Fläche strahlt also mehr Wärme aus als die polirte Metallfläche.

Diese Methode ist zwar ganz geeignet, um die Unterschiede im Strahlungsvermögen sichtbar zu machen; um aber genauere Vergleichungen anzustellen, ist Melloni's Verfahren bei Weitem vorzüglicher; er stellte in passender Entfernung von der Thermosäule einen Hohlwürfel von Messingblech auf, dessen Seite 7 bis 8 Centimeter lang und welcher mit heißem Wasser gefüllt war, welches durch eine Weingeistlampe auf constanter Temperatur erhalten wurde; die Seitenflächen dieses Würfels waren auf verschiedene Weise präparirt, nämlich eine mit Ruß, eine mit Bleiweiß, eine mit Tusch überzogen und eine polirt. Je nachdem die eine oder die andere Seitenfläche der Thermosäule zugekehrt ist, sind die Ablenkungen der Nadel sehr ungleich; aus den beobachteten Ablenkungen ergiebt sich dann ohne Weiteres das Verhältniß, in welchem die Emissionsfähigkeit der verschiedenen Flächen zu einander steht. Auf diese Weise wurde das Ausstrahlungsvermögen folgender Körper bestimmt:

Kienruß . . .	100	Tusch . . .	85
Bleiweiß . . .	100	Metallfläche .	12.

Wenn man also mit 100 das Ausstrahlungsvermögen des Kienrußes bezeichnet, so ist das Ausstrahlungsvermögen einer polirten Metallfläche gleich 12, also nur $\frac{12}{100}$ von dem der Kienrußfläche.

Absorption der Wärmestrahlen. Jeder Körper hat das Ver- 268
mögen, Wärmestrahlen, die, von einem anderen Körper kommend, ihn treffen, mehr oder weniger zu absorbiren; dies ergiebt sich schon aus den eben besprochenen Versuchen; denn die Körper erwärmen sich in dem Brennpunkte des einen Hohlspiegels nur deshalb, weil sie die Wärmestrahlen absorbiren, welche durch die Spiegel auf ihnen concentrirt werden. Daß dies Vermögen aber allen Körpern

Digitized by Google

zukommt, ergiebt sich daraus, daß alle, den Sonnenstrahlen ausgesetzt, eine Temperatur annehmen, welche höher ist als die Temperatur der Luft.

Das Absorptionsvermögen ist nicht für alle Körper gleich, was schon daraus hervorgeht, daß sie nicht gleiches Emissionsvermögen haben; denn eine Oberfläche, welche leicht Wärmestrahlen aussendet, muß umgekehrt auch die Fähigkeit haben, diese Strahlen einzusaugen. Die Ungleichheit des Absorptionsvermögens läßt sich schon durch einen einfachen Versuch zeigen: Man setze nur ein Thermometer, dessen Kugel geschwärzt ist, den Sonnenstrahlen aus, so wird es weit höher steigen als ein anderes, dessen Kugel nicht geschwärzt ist; die geschwärzte Oberfläche der einen Thermometerkugel absorbirt also offenbar mehr Wärmestrahlen als die glänzende Oberfläche der anderen.

Die von einem Körper absorbirten Wärmestrahlen sind es also, welche ihn erwärmen; wenn demnach ein Körper durch Wärmestrahlung möglichst stark erwärmt werden soll, so muß man ihn mit einem Ueberzuge versehen, welcher die Wärmestrahlen stark absorbirt; man überzieht deshalb auch alle Thermoskope, welche dazu dienen sollen, die Wirkungen der Wärmestrahlung recht merklich zu machen, die Kugeln der Differentialthermometer, die beiden Enden der thermoelektrischen Säule u. s. w. mit Ruß, weil dieser unter allen bekannten Körpern das stärkste Absorptionsvermögen hat.

Wir haben oben gesehen, daß glänzende Metallflächen nur ein sehr geringes Emissionsvermögen besitzen, und daraus folgt, daß sie die Wärmestrahlen auch nur in einem sehr geringen Maße einzusaugen im Stande sind.

269 **Reflexion und Diffusion der Wärmestrahlen.** Im Allgemeinen haben die Körper die Fähigkeit, einen Theil der sie treffenden Wärmestrahlen ganz in der Weise zurückzuwerfen, wie auch die Lichtstrahlen regelmäßig oder unregelmäßig reflectirt werden. Die Spiegel, die zu den obigen Versuchen dienten, geben uns einen entscheidenden Beweis für die Reflexion der Wärmestrahlen; denn sie erwärmen sich selbst bei dem Versuche mit dem Zunder nicht. Ein einfacher Schluß überzeugt uns, daß die meisten Körper dieses Reflexionsvermögen besitzen müssen und daß es dem Absorptionsvermögen so zu sagen complementär ist; denn die Summe der absorbirten und der reflectirten Wärmestrahlen muß doch offenbar der Gesammtheit der einfallenden Strahlen gleich sein, vorausgesetzt, daß der Körper keine Wärmestrahlen durchläßt. Wenn also das Reflexionsvermögen größer ist, so ist das Absorptionsvermögen geringer, und umgekehrt. Ein Körper, der gar keine Wärmestrahlen reflectirt, muß alle Strahlen absorbiren, wie dies in der That bei solchen Oberflächen der Fall ist, die man sorgfältig mit Ruß überzogen hat; polirte Metallflächen dagegen, welche ein großes Reflexionsvermögen besitzen, absorbiren nur sehr wenig Wärmestrahlen.

Die Wärmestrahlen werden ganz nach denselben Gesetzen reflectirt wie die Lichtstrahlen, d. h. der Reflexionswinkel ist dem Einfallswinkel gleich; dies geht schon aus den Versuchen mit den Hohlspiegeln hervor, da ja die Brennpunkte für die Wärmestrahlen mit denen der Lichtstrahlen zusammenfallen.

Digitized by Google

Sowie an der Oberfläche eines nicht ganz vollständig polirten Körpers Lichtstrahlen nach allen Seiten unregelmäßig zerstreut werden, so erleiden auch die Wärmestrahlen an der Oberfläche der meisten Körper eine Diffusion. Man kann sich davon durch folgenden Versuch überzeugen. Man lasse durch eine Oeffnung in dem Laden eines dunklen Zimmers Sonnenstrahlen auf eine der Oeffnung gegenüberliegende Wand fallen, so wird der erleuchtete Fleck derselben, welcher von allen Seiten her sichtbar ist, weil er das Sonnenlicht nach allen Seiten hin zerstreut, auch die Wärmestrahlen unregelmäßig zerstreuen, also nach allen Seiten hin Wärmestrahlen aussenden, als ob er selbst eine Wärmequelle wäre. Diese Diffusion der Wärmestrahlen wird sichtbar, wenn man dem hellen Flecke die thermoelektrische Säule zukehrt; man erhält einen Ausschlag der Nadel, an welcher Stelle des Zimmers man auch das Instrument aufstellen mag; die Wirkung kann also nicht von einer regelmäßigen Reflexion herrühren; daß sie aber auch nicht die Folge einer Erwärmung der von den Sonnenstrahlen beschienenen Stelle der Wand ist, geht daraus hervor, daß die Nadel auf der Stelle wieder auf den Nullpunkt der Theilung zurückgeht, sobald man die Oeffnung im Laden verschließt.

Fähigkeit der Körper, Wärmestrahlen durchzulassen. 270

Daß feste Körper Wärmestrahlen in derselben Weise durchlassen können wie durchsichtige Körper die Lichtstrahlen, geht schon daraus hervor, daß man im Stande ist, brennbare Körper zu entzünden, wenn man sie in den Brennpunkt einer den Sonnenstrahlen ausgesetzten Linse hält. Genauere Untersuchungen darüber wurden erst durch die thermoelektrische Säule möglich, und Melloni hat mit Hülfe derselben eine Reihe höchst wichtiger Resultate über den Durchgang der Wärmestrahlen durch verschiedene Körper erhalten.

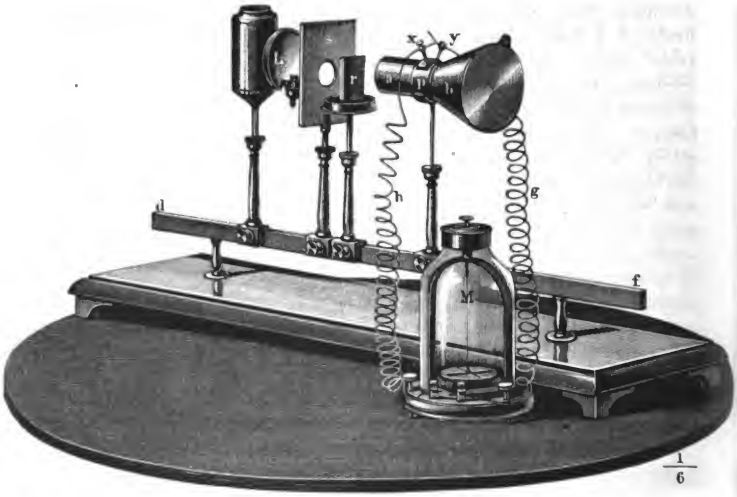
Diejenigen Körper, welche die Wärmestrahlen aufhalten, wie die undurchsichtigen Körper die Lichtstrahlen, nennt Melloni atherman; solche Körper hingegen, welche sich gegen die Wärmestrahlen verhalten wie die durchsichtigen Körper gegen die Lichtstrahlen, nennt er diatherman. Die Luft ist also ein diathermaner Körper, und wir werden sogleich sehen, daß auch sehr viele feste und flüssige Körper, wenn auch nur in sehr ungleichem Maße, diatherman sind.

Die Versuche werden in folgender Weise angestellt. Die Wärmequelle, etwa eine kleine Oellampe, oder ein mit heißem Wasser gefüllter Hohlwürfel von Messingblech, an welchem eine Seite berußt ist, damit sie die Wärme besser ausstrahlt, wird so gestellt, daß sie eine Ablenkung der Nadel von 30° hervorbringt; werden nun die Wärmestrahlen durch eine bei *r*, Fig. 539 (a. f. S.), aufgestellte Platte des zu untersuchenden Körpers aufgefangen, so geht die Nadel bald mehr, bald weniger zurück, und so ergiebt sich, daß gleich dicke und gleich durchsichtige Platten verschiedener Stoffe nicht gleiche Mengen strahlender Wärme durchlassen. Bewirkt z. B. die freie Strahlung der Wärmequelle eine Ablenkung von 30°, so wird die Nadel auf 28° zurückgehen, wenn man eine 3 bis 4 Millimeter dicke Steinsalzplatte bei *r* aufstellt, während eine gleich dicke Quarzplatte die Nadel auf 15 bis 16° zurückgehen macht; das Steinsalz läßt

Digitized by Google

also die Wärmestrahlen bei Weitem besser durch als der Bergkrystall. Manche weniger durchsichtige Körper lassen sogar die Wärmestrahlen besser durch als andere, die ganz durchsichtig sind. Während z. B. eine ganz durchsichtige

Fig. 539.



Alaunlampe die Ablenkung der Nadel von 30° auf 3 bis 4° reducirt, bringt eine noch weit dickere Platte von Rauchtopas die Nadel nur auf 14 bis 15° zurück. Ja mancher fast ganz undurchsichtige Körper, wie schwarzes Glas und schwarzer Glimmer, lassen noch ziemlich viele Wärmestrahlen durch.

Läßt man die Wärmestrahlen, welche durch eine Glasplatte gegangen sind, auf eine Alaunplatte fallen, so werden sie gänzlich absorbirt, während doch eine Alaunplatte fast alle Wärmestrahlen durchläßt, welche zuvor durch eine Platte von Citronensäure gegangen sind. Diese Erscheinung hat die größte Aehnlichkeit mit dem Durchgange des Lichtes durch gefärbte Mittel; Lichtstrahlen, welche durch ein grünes Glas gegangen sind, werden bekanntlich von anderen grünen Gläsern leicht durchgelassen, sie werden aber absorbirt, wenn man sie auf ein rothes Glas fallen läßt; die Unterschiede zwischen den Wärmestrahlen sind also den Verschiedenheiten der Farben beim Lichte ganz analog.

Aehnliches hat man auch in Beziehung auf das Emissionsvermögen und Absorptionsvermögen der Körper bemerkt.

Die Wärmestrahlen sind brechbar wie die Lichtstrahlen, was sich am besten mit Hülfe eines Prismas von Steinsalz nachweisen läßt. Auch Polarisationserscheinungen hat man bei den Wärmestrahlen nachgewiesen.

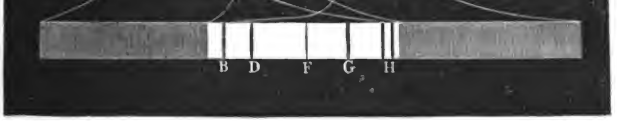
Digitized by Google

Wärmeverhältnisse des Sonnenspectrums. Das Licht der 271
Sonnenstrahlen ist von chemischen und thermischen Effecten begleitet. Wir haben bereits oben Seite 318 gesehen, daß die blauen und violetten Strahlen des Spectrums die kräftigsten chemischen Wirkungen hervorbringen, ja daß sich die chemischen Effecte noch über die violette Gränze des Spectrums hinaus erstrecken, d. h. daß es Strahlen giebt, welche noch brechbarer sind, die also noch rascher vibriren als die äußersten sichtbaren violetten Strahlen; die chemischen Wirkungen des rothen und gelben Lichtes sind dagegen sehr unbedeutend. Den Gegensatz zu diesem Verhältnisse zeigen die thermischen Wirkungen im Sonnenspectrum. Die wärmende Kraft der blauen und violetten Strahlen ist äußerst gering, die der rothen und gelben dagegen sehr bedeutend. Wie die chemischen Wirkungen sich noch über die violette, so erstrecken sich auch die thermischen noch über die rothe Gränze des Spectrums hinaus, d. h. es giebt Strahlen, welche weniger brechbar als die rothen vom Auge nicht wahrgenommen werden, welche aber doch erwärmende Eigenschaften haben, und welche wir als dunkle Wärmestrahlen bezeichnen können. Die Wärmestrahlen, welche ein geheizter eiserner Ofen ausstrahlt, sind solche dunkle Wärmestrahlen; ihre Vibrationsgeschwindigkeit ist dem Gesagten zu Folge noch geringer, ihre Wellenlänge also noch größer als die der äußersten rothen Strahlen.

In dem Spectrum eines Steinsalzprismas liegt das Maximum des Wärmeeffectes nicht im sichtbaren Theile, sondern in der ultrarothen Verlängerung.

In Fig. 540 stellt die Curve I die Intensitätsverhältnisse des Wärmespectrums, II die des Lichtspectrums und III die des chemischen Spectrums dar.

Fig. 540.



Man ersieht aus dieser Figur, wie das Maximum des thermischen Effectes noch jenseits der rothen Gränze des sichtbaren Spectrums liegt. Die größte Lichtstärke des Spectrums findet sich im Gelb, in der Nähe der Fraunhofer'schen Linie *D*. Das Maximum des chemischen Effectes endlich liegt im Indigo, zwischen den Fraunhofer'schen Linien *G* und *H*.

Während die Wellenlänge der violetten Strahlen ungefähr 0,0004^{mm}, die der äußersten rothen ungefähr 0,0007^{mm} beträgt, ist nach Esselbach's Messungen die Wellenlänge der äußersten chemischen Strahlen 0,0003^{mm}, und nach meinen Versuchen die Wellenlänge der äußersten dunklen Wärmestrahlen 0,0018^{mm}.

Digitized by Google

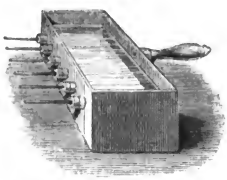
Die Gesammtheit der Sonnenstrahlen umfaßt demnach nahezu 2½ Octaven, von welchen nicht ganz eine Octave (von 0,0004 bis 0,0007 Millimeter) auf das sichtbare Spectrum fällt.

272 **Verbreitung der Wärme durch Leitung.** Nicht allein durch Strahlung, sondern auch bei unmittelbarer Berührung kann die Wärme von einem Körper zum anderen übergehen und sich alsdann durch seine ganze Masse hindurch verbreiten; doch findet in Beziehung auf die Leichtigkeit, mit welcher die Wärme in einen Körper übergeht und sich durch seine Masse verbreitet, eine große Ungleichheit zwischen verschiedenen Stoffen Statt; in manchen verbreitet sich die Wärme außerordentlich leicht, während in anderen dieselbe weniger leicht von einem Theilchen zum anderen übergeht. Ein Schwefelhölzchen, welches an einem Ende brennt, kann man am anderen Ende noch zwischen den Fingern halten, ohne nur eine Temperaturerhöhung des Holzes zu fühlen; die hohe Temperatur des brennenden Endes theilt sich also nicht so leicht der übrigen Masse des Holzes mit, das Holz ist ein schlechter Wärmeleiter; einen gleichlangen Metalldraht aber, den man an dem einen Ende glühend gemacht hat, kann man am anderen Ende nicht anfassen, ohne sich zu verbrennen, die Wärme verbreitet sich also leicht von dem glühenden Ende aus durch das ganze Stäbchen, das Metall ist also ein guter Wärmeleiter.

Ein Stück Eisen und ein Stück wollenes Tuch, welche eine kalte Winternacht hindurch im Freien lagen, haben gewiß eine gleich niedrige Temperatur, und doch fühlt sich das Eisen ungleich kälter an, weil es der Hand die Wärme ungleich rascher entzieht als die Wolle.

Um zu zeigen, wie ungleich die Fähigkeit verschiedener Körper ist, die Wärme fortzuleiten, kann man den in Fig. 541 dargestellten, von Ingenhouß angegebenen Apparat anwenden. In die eine Seitenwand eines Kastens von Blech sind mehrere, aus den zu vergleichenden Substanzen verfertigte Stäbchen eingesteckt, welche sämmtlich gleichen Durchmesser haben müssen und sämmtlich mit einer Schicht von Wachs überzogen sind; wenn man nun kochendes Wasser oder heißes Oel in den Kasten gießt, so wird die Wärme auch mehr oder weniger weit in die Stäbchen vordringen und den Wachsüberzug schmelzen. Nehmen wir an, das eine Stäbchen sei von Kupfer, eines von Eisen, ein drittes von Blei, das vierte von Glas, das letzte von Holz, so wird die Wachsschicht des Kupferstäbchens schon vollständig bis ans Ende geschmolzen sein, während bei allen anderen Stäbchen die Schmelzung des Wachses noch nicht so weit vorgeschritten ist; das Kupfer ist also unter diesen fünf Körpern der beste Wärmeleiter. Für das Eisenstäbchen schreitet die Schmelzung des Wachses rascher voran als für das Bleistäbchen, und während das Wachs auf dem Kupferstabe ganz weggeschmolzen ist, ist die Wachsschicht auf dem Glasstabe nur auf eine sehr unbedeutende

Fig. 541.



Digitized by Google

Strecke geschmolzen, an dem Holzstäbchen ist aber kaum ein Anfang des Schmelzens wahrzunehmen, das Holz ist also in der That unter diesen Körpern der schlechteste Wärmeleiter.

Unter allen Körpern sind die Metalle die besten, Asche, Seide, Haare, Stroh, Wolle u. s. w., überhaupt die lockeren Körper die schlechtesten Wärmeleiter.

Im praktischen Leben machen wir von der guten oder schlechten Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Körper zahlreiche Anwendungen. Gegenstände, die man vor der Erkaltung schützen will, umgiebt man mit schlechten Wärmeleitern; man umwickelt Bäume und Sträuche des Winters mit Stroh, um sie vor dem Erfrieren zu schützen; unsere Kleider halten warm, weil sie aus schlechten Wärmeleitern verfertigt sind. In einem kupfernen Gefäße bringt man unter sonst gleichen Umständen eine Flüssigkeit weit eher ins Kochen als in einem Porzellangefäße von derselben Wanddicke.

Wärmeleitungsfähigkeit der Flüssigkeiten und Gase. 273

In den Flüssigkeiten verbreitet sich die Wärme meistens durch Strömungen, welche dadurch entstehen, daß die erwärmten Theilchen wegen ihrer geringeren Dichtigkeit immer in die Höhe steigen. Man kann diese Strömungen leicht sichtbar machen, wenn man Sägespäne in Wasser wirft, welches sich in einem Glasgefäße befindet, und dann von unten her langsam erwärmt, Fig. 542. Man sieht, wie die Strömung in der Mitte aufwärts, an der Seite abwärts gerichtet ist. Wenn man eine Flüssigkeit von oben her erwärmt, so daß das hydrostatische Gleichgewicht nicht gestört wird, so kann sich die Wärme nur in derselben Weise durch die Masse der Flüssigkeit verbreiten, wie dies bei festen Körpern der Fall ist, nämlich durch Leitung, indem die Wärme von einer Schicht zur anderen übergeht. In solchen Fällen verbreitet sich die Wärme aber nur sehr langsam durch die Masse der Flüssigkeit, **die Flüssigkeiten sind also sehr schlechte Wärmeleiter.**

Fig. 542.

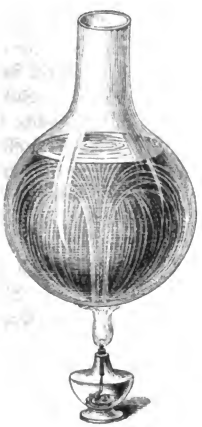
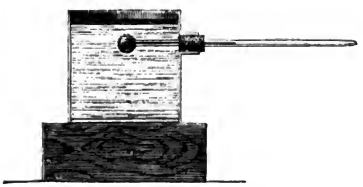


Fig. 543.



Digitized by Google

Um sich von der schlechten Leitungsfähigkeit des Wassers zu überzeugen, kann man den in Fig. 543 (a. v. S.) abgebildeten Versuch anstellen. In die Seitenwand eines aus dünnem Blech verfertigten Gefäßes wird mittelst eines Korkes auf der Seite ein Thermometer eingesetzt und dann das Gefäß so weit voll Wasser gegossen, daß sich die Thermometerkugel ungefähr 2 Linien unter dem Wasserspiegel befindet. Gießt man nun heißes Oel auf das Wasser, oder etwas Weingeist, den man anzündet, so wird es doch eine geraume Zeit dauern, ehe das Thermometer eine merkliche Temperaturerhöhung zeigt.

Wenn man in ein mit kaltem Wasser gefülltes Reagenzröhrchen ein Stückchen Eis wirft, welches mit etwas Draht umwickelt ist, damit es zu Boden sinkt, so kann man in der oberen Hälfte des schräg gehaltenen Röhrchens das Wasser über einer Weingeistlampe ins Kochen bringen, ohne daß unten ein merkliches Wegschmelzen des Eisens stattfindet.

Despretz hat die Leitungsfähigkeit des Wassers bestimmt, indem er Wassersäulen von 1 Meter Höhe und 0,2 bis 0,4 Meter Durchmesser von oben her durch beständige Erneuerung von heißem Wasser erwärmte. Es dauerte ungefähr 30 Stunden, bis die Temperatur der Wassersäule an allen Stellen stabil wurde. Aus diesen Versuchen folgt, daß die Wärmeleitungsfähigkeit des Wassers ungefähr 96mal geringer ist als die des Kupfers.

Die Luft und die Gase überhaupt sind ebenfalls sehr schlechte Wärmeleiter, doch läßt sich ihr Wärmeleitungsvermögen durch Thermometer, die man etwa in verschiedenen Schichten der zu untersuchenden Luftmasse anbringen wollte, wegen der Wärmestrahlung nicht ermitteln. Daß jedoch die Gase überhaupt und die Luft insbesondere schlechte Wärmeleiter sind, geht daraus hervor, daß Körper, welche von allen Seiten von Luftschichten umgeben sind, nur sehr langsam erwärmt und erkaltet werden können, wenn nur der Wechsel der Luftschichten verhindert wird. Dadurch erklärt sich die Wirksamkeit der doppelten Fenster und der doppelten Thüren, um ein Zimmer warm zu halten. Das schlechte Leitungsvermögen lockerer Körper, wie Stroh, Wolle u. s. w., rührt größtentheils daher, daß die zahllosen Zwischenräume mit Luft ausgefüllt sind. Solche Körper, von denen wir sagen, daß sie warm halten, wie z. B. unsere Kleider, Stroh, sind nicht selbst warm, ihre Wirkung beruht nur auf ihrer schlechten Wärmeleitungsfähigkeit; wenn man Eis in solche Körper einhüllt, so verhindern sie das Schmelzen desselben, weil sie die äußere Wärme abhalten.

Digitized by Google

Fünftes Capitel.

Quellen der Wärme.

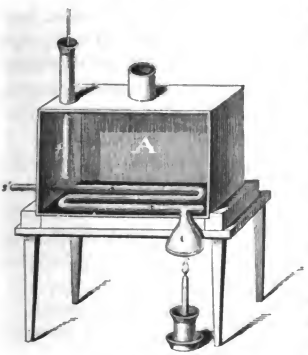
Wärmeerzeugung durch chemische Verbindungen. 274

Nach der Sonne sind für uns die chemischen Verbindungen die wichtigsten Wärmequellen. Fast jeder chemische Proceß ist von einer Wärmeentwickelung begleitet.

Von ganz besonderer Wichtigkeit ist die Entwickelung der Wärme, welche durch Verbrennung, also durch eine rasche Verbindung der Körper mit Sauerstoff, entwickelt wird.

Um die durch Verbrennung entwickelte Wärme zu bestimmen, bediente sich Rumford des in Fig. 544 abgebildeten Apparates; der Kasten *A* ist mit Wasser gefüllt, durch welches ein Schlangenrohr hindurchzieht. Der Eingang in das Schlangenrohr ist durch einen Trichter gebildet, unter welchen die zu verbrennenden Körper gebracht werden. Mit Oel und Alkohol ist der Versuch leicht anzustellen; man füllt sie nämlich in eine kleine Lampe, die man zu Anfang und zu Ende des Versuches wägt, um die Menge des verbrannten Materials zu erfahren. Die Flamme und die Producte der Verbrennung ziehen durch das Schlangenrohr hindurch und erwärmen das Wasser des Apparates. Aus der Temperaturerhöhung, welche das Wasser mit dem ganzen Apparate erfährt, läßt sich dann die Wärmemenge, welche durch die Verbrennung erzeugt wurde, berechnen; doch darf man dabei die Wärme nicht unberücksichtigt lassen, mit welcher die gasförmigen Producte der Verbrennung aus dem Schlangenrohre austreten.

Fig. 544.



Durch solche Versuche ergab sich, daß durch die Wärme, welche entwickelt wird bei

der Verbrennung von 1 Gramm	die Temperatur von 1 Kilogramm Wasser erhöht werden kann um
Wasserstoffgas	36,40°
Oelbildendes Gas	12,20
Absoluter Alkohol	6,96
Kohle	7,29
Wachs	10,50
Rüböl	9,31
Talg	8,37

275 **Thierische Wärme.** Die Temperatur der Blutwärme aller Thiere ist fast immer von der Temperatur des Mittels verschieden, welches sie umgiebt. Die Thiere der Polarländer sind stets wärmer als das Eis, auf welchem sie leben, in den Aequatorialgegenden aber sind sie oft kälter als die glühende Luft, welche sie einathmen. Die Vögel haben nie die Temperatur der Luft, die Fische nie die Temperatur des Wassers, von welchem sie umgeben sind; der thierische Körper hat also seine eigenthümliche Wärme, er muß sie also auch fortwährend erzeugen können.

Die innere Wärme des Menschen scheint für alle Organe dieselbe und zwar derjenigen gleich zu sein, auf welche ein kleines Thermometer steigt, wenn man die Kugel unter die Zunge bringt und den Mund schließt, bis es nicht mehr steigt; diese Temperatur ist 37° C. Alter und Klima, Gesundheit oder Krankheit können diese Temperatur nur unbedeutend ändern.

Die Blutwärme der Vögel ist größer als bei allen anderen Thieren, sie beträgt im Durchschnitt 42°; die Blutwärme der Säugethiere ist der des Menschen sehr nahe gleich. Bei den Vögeln und Säugethieren ist die Blutwärme von der Temperatur der Umgebung unabhängig; bei den übrigen Thierclassen aber, den Amphibien, Fischen u. s. w., ist die Temperatur des Körpers nur wenig von der Temperatur der Umgebung verschieden.

Welches ist nun die Quelle der thierischen Wärme? Die Luft, welche wir einathmen, wird in derselben Weise verändert wie die Luft, welche zur Verbrennung gedient hat: statt des eingeathmeten Sauerstoffs hauchen wir Kohlensäure aus, es findet also im Körper eine förmliche Verbrennung Statt. Seit Lavoisier diese Entdeckung gemacht hatte, war die Quelle der thierischen Wärme kein Geheimniß mehr.

Durch die Speisen wird dem Blute der Kohlenstoff zugeführt, welcher sich vorzugsweise in den capillaren Verzweigungen der Adern mit dem Sauerstoff der eingeathmeten Luft verbindet; durch die Oxydation des Kohlenstoffs im Thierkörper muß aber nothwendig dieselbe Wärmemenge erzeugt werden, als ob der Kohlenstoff durch schnelle Verbrennung in Kohlensäure verwandelt worden wäre.

In einer kalten Umgebung verliert der Mensch und das Thier stets mehr Wärme als in wärmerer; da aber die Blutwärme bei den Säugethieren und Vögeln von der Temperatur der Luft unabhängig ist, so ist klar, daß im Kör-

Digitized by Google

per mehr Wärme erzeugt werden muß, wenn ihm in jedem Augenblicke eine größere Wärmemenge entzogen wird, wenn er also in kalter Luft lebt, als wenn er in wärmerer Umgebung nur wenig Wärme nach außen hin abgiebt. Um aber in gleichen Zeiten mehr Wärme erzeugen zu können, muß dem Körper mehr Kohlenstoff zugeführt werden, durch dessen Oxydation die Wärme erzeugt wird, wie man ja auch bei kaltem Wetter mehr Brennmaterial im Ofen verbrennen muß, um ein Zimmer auf einer bestimmten constanten Temperatur zu erhalten, als bei gelinder Kälte. Dadurch erklärt sich nun, warum der Nordländer mehr Speisen und besonders mehr kohlenstoffhaltige Speisen zu sich nehmen muß als der Bewohner der heißen Zone.

Wärmeentwickelung durch mechanische Mittel. Wir 276
haben bereits in Paragraph 265 ein Beispiel der Wärmeentwickelung auf mechanischem Wege kennen gelernt, nämlich das Freiwerden von Wärme durch *Compression der Luft*. In gleicher Weise ist die Compression eines jeden Körpers von einer mehr oder minder bedeutenden Wärmeentwickelung begleitet.

Wie die Zusammendrückung eines Körpers, so ist aber auch jede *Reibung* von einer Wärmeentwickelung begleitet, und in der That ist die Reibung dasjenige Mittel, durch welches sich der Mensch in weitaus den meisten Fällen Feuer zu verschaffen weiß. Durch eine zweckmäßige Reibung von Holzstücken macht der Indianer sein Feuer an. Das Feuerschlagen mit Stahl und Stein beruht lediglich auf der Wärmeentwickelung durch Reibung, und eine geringe Reibung ist es auch, durch welche wir unsere Zündhölzchen zum Brennen bringen.

Die durch Reiben entwickelte Wärme kann unter Umständen sehr bedeutend werden. Ein eiserner Radschuh erhitzt sich oft so, daß er *zischt*, wenn er mit Wasser in Berührung kommt, ja an einem rasch laufenden Schleifsteine von großem Durchmesser soll ein eiserner Nagel glühend werden.

Theoretische Ansichten über die Wärme. Wir haben nun 277
die wichtigsten Gesetze der Wärmeerscheinungen kennen gelernt, ohne daß die Rede davon gewesen wäre, was denn eigentlich die *Wärme* sei. In dieser Beziehung ist also die Wärmelehre ganz so behandelt worden, wie der erste Theil der Lehre vom Lichte, wo auch die empirischen Gesetze der Spiegelung und Brechung entwickelt wurden, ohne weiter nach dem Wesen des Lichtes zu fragen; eine Theorie aber, aus welcher sich alle Wärmeerscheinungen nicht nur der Art, sondern auch der Größe nach so vollständig ableiten lassen, wie die Lichtphänomene aus der Wellentheorie, fehlt bis jetzt noch.

Gewöhnlich stellt man sich die Wärme als einen imponderabelen Stoff vor, welcher die Körper durchdringt; diese Vorstellung paßt sich mancher Erscheinung, wie z. B. der Wärmebindung, der Wärmecapacität, ganz gut an, sie giebt uns für diese Erscheinungen ein ganz gutes Bild, ja die Ausdrücke sind auch mit Zugrundelegung dieser Ansicht geschaffen. Wenn sich aber auch die Erscheinungen der Wärmecapacität, der latenten Wärme, die Wärmeleitung ganz gut mit der Vorstellung des Wärmestoffes vertragen, so ist es doch auf der anderen Seite

Digitized by Google

höchst unwahrscheinlich, daß es einen solchen gebe, wie denn wohl überhaupt imponderabele Stoffe im älteren Sinne des Wortes aus der Physik verschwinden werden, wie es beim Lichte schon der Fall ist. In der Wärmelehre steht der große Schritt, welcher der Einführung der Vibrationstheorie beim Lichte entspricht, wohl am nächsten bevor.

Einige Erscheinungen sind mit der Annahme des Wärmestoffes gar nicht zu vereinigen: die Wärmestrahlung und Erzeugung der Wärme durch Reibung.

Die Gesetze der strahlenden Wärme sind denen der Lichtstrahlung so ähnlich, daß die Idee nahe liegt, auch die Wärmestrahlung einer Aethervibration zuzuschreiben. Wenn aber die strahlende Wärme durch Vibrationen des Aethers sich fortpflanzt, so müßte die fühlbare Wärme durch Vibrationen der materiellen Theile der Körper selbst hervorgebracht werden.

Daß die Wärmeerscheinungen in der That von solchen Vibrationen herrühren, ist höchst wahrscheinlich, obgleich wir noch nicht im Stande sind, alle Erscheinungen der Wärme aus dieser Hypothese nur einigermaßen genügend abzuleiten, und wir die Vorstellung eines Wärmestoffes zur leichteren Darstellung und Uebersicht noch nicht wohl entbehren können.

Digitized by Google

Sechstes Buch.

Meteorologie.

Digitized by Google

Erstes Capitel.

Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche.

Die Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen. 278 Die Erwärmung der Erdoberfläche und der Atmosphäre, durch welche allein das Gedeihen der Pflanzen- und Thierwelt möglich ist, haben wir nur den Strahlen der Sonne zu danken, welche somit als die Quelle alles Lebens auf unserem Planeten betrachtet werden muß. — Wo die Mittagssonne vertical über den Köpfen der Bewohner steht, wo ihre Strahlen unter rechtem Winkel die Erdoberfläche treffen, da entwickelt sich eine üppige Vegetation, wenn eine zweite Bedingung ihrer Existenz, nämlich die Feuchtigkeit, nicht fehlt; wo aber die Sonnenstrahlen stets allzu schräg auffallen, um eine merkliche Wirkung hervorzubringen, da starrt die Natur von ewigem Eise, da hört alles Thier- und Pflanzenleben auf.

Indem die Sonnenstrahlen die Atmosphäre durchwandern, erleiden sie eine verhältnißmäßig geringe Absorption, weil die Luft ein sehr diathermaner Körper ist; jedenfalls ist die directe Erwärmung der Luft durch absorbirte Sonnenstrahlen eine sehr unbedeutende. Erst wenn die Sonnenstrahlen der Erdoberfläche selbst treffen, werden sie absorbirt und in fühlbare Wärme verwandelt. Durch den erwärmten Boden wird die Lufthülle der Erde von unten her erwärmt.

Die Erwärmung des Bodens hängt von der Richtung ab, in welcher die Sonnenstrahlen ihn treffen, und da diese Richtung eine nach bestimmten Gesetzen regelmäßig wechselnde ist, so ist klar, daß der Erwärmungszustand der Erdoberfläche und der unteren Schichten der Atmosphäre periodische Variationen erleiden muß, und zwar haben wir eine tägliche und eine jährliche Periode im Gange der Lufttemperatur (der Temperatur der unteren Luftschichten) zu unterscheiden.

Während der Erde durch die Sonnenstrahlen Wärme zugeführt wird, verliert sie auf der anderen Seite Wärme durch Ausstrahlung gegen die kälteren Himmelsräume. Im Allgemeinen halten sich Ein- und Ausstrahlung das Gleichgewicht, d. h. die Summe der Wärme, welche der Erde durch die Sonnenstrahlen zugeführt wird, ist derjenigen gleich, welche sie durch Ausstrahlung verliert. Dabei ist aber die Wärme über die Erdoberfläche weder gleichförmig noch unveränderlich vertheilt. Die höchste Erwärmung der Erdoberfläche und der

Digitized by Google

unteren Luftschichten finden wir in den Aequatorialgegenden, während es um so kälter wird, je mehr wir uns den Polen nähern. Fassen wir aber die Temperatur irgend eines bestimmten Ortes auf der Erdoberfläche ins Auge, so zeigt sich, daß sie beständigen Schwankungen unterworfen ist, indem in Folge der veränderlichen Stellung der Sonne gegen die Erdoberfläche bald die Einstrahlung, bald die Ausstrahlung das Uebergewicht gewinnt.

Da nun aber die Veränderungen, welche die Stellung der Sonne gegen die Erdoberfläche erfährt, an zwei Perioden, eine tägliche und eine jährliche, gebunden ist, so ist klar, daß auch die Variationen der Temperatur an irgend einem Orte der Erdoberfläche eine tägliche und eine jährliche Periode befolgen müssen.

279 **Die fünf Zonen.** Für verschiedene Gegenden der Erdoberfläche sind die Insolationsverhältnisse äußerst ungleich. Innerhalb der Wendekreise, wo Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch fast gleich sind, wo die Sonne bei ihrem höchsten Mittagsstande das Zenith passirt, und wo die niedrigste Mittagshöhe mindestens 44° (die niedrigste Mittagshöhe der Sonne ist für die Wendekreise 43° 42′, für den Aequator 66° 32′) beträgt, wo also täglich die Sonnenstrahlen eine kräftige Wirkung ausüben können, muß auch stets eine hohe Lufttemperatur herrschen. Jener zwischen den Wendekreisen gelegene Aequatorialgürtel wird deshalb auch die heiße Zone genannt. Sie ist der Schauplatz des reichsten Thier- und Pflanzenlebens.

Den Gegensatz der heißen Zone bilden die Umgebungen der Pole.

Innerhalb der beiden von den Polarkreisen (66° 32′ nördlicher und südlicher Breite) begränzten Kugelabschnitte kommt die Sonne Tage, Wochen, Monate lang gar nicht über den Horizont, und auch dann nur, um ihre Strahlen in sehr schräger Richtung auf den Boden zu senden; hier also kann nur eine geringe Wärmeentwickelung stattfinden, und hier starrt deshalb auch fast das ganze Jahr hindurch die Natur in Schnee und Eis.

Der von dem nördlichen Polarkreise eingeschlossene Raum wird die nördliche, der von dem südlichen Polarkreise eingeschlossene Raum wird die südliche kalte Zone genannt.

Der Gürtel zwischen dem nördlichen Wendekreise und dem nördlichen Polarkreise bildet die nördliche gemäßigte Zone, gleich wie die südliche gemäßigte Zone sich vom südlichen Wendekreise bis zum südlichen Polarkreise erstreckt. Je mehr man in diesen gemäßigten Zonen gegen die Polarkreise vordringt, desto mehr nähern sich die Temperaturverhältnisse denen der kalten Zonen.

Im Allgemeinen also sind die Temperaturverhältnisse eines Ortes eine Function seines Abstandes vom Aequator, also seiner geographischen Breite, und wenn sie nur von den Insolationsverhältnissen bedingt wären, wenn nicht andere Factoren modificirend einwirkten, so müßte die mittlere Lufttemperatur gleich sein für alle Orte gleicher geographischer Breite. Wir werden bald sehen, daß und warum dies nicht der Fall ist.

Digitized by Google

Die täglichen Variationen der Lufttemperatur. Wenn 280
die Sonne, nachdem sie am östlichen Himmel aufgegangen ist, höher und höher über den Horizont sich erhebt, so muß die immer kräftiger wirkende Insolation ein Steigen der Lufttemperatur zur Folge haben. Wenn die Sonne ihren höchsten Stand erreicht hat, so ist jedoch die Temperatur der Erdoberfläche noch keineswegs so hoch gestiegen, daß sie eben so viel Wärme gegen den Himmelsraum ausstrahlen könnte, als sie durch die Sonnenstrahlen empfängt. Deshalb dauert das Steigen der Temperatur noch über Mittag fort, und erst 1 bis 2 Stunden nach der Culmination der Sonne, wenn ihre Höhe schon merklich abgenommen hat, tritt ein momentaner Gleichgewichtszustand zwischen Ein- und Ausstrahlung ein, das Maximum der täglichen Temperatur findet also erst um 1 bis 2 Uhr Nachmittags Statt. Von da an aber gewinnt bei immer mehr sinkender Sonne die Ausstrahlung das Uebergewicht, die Temperatur sinkt anfangs langsam, dann rascher in den Abendstunden. Während der Nacht, wo gar keine Einstrahlung stattfindet, dauert das Sinken der Temperatur mit abnehmender Schnelligkeit fort, bis sie zur Zeit des Sonnenaufganges ihr Minimum erreicht hat.

Da im Sommer die Sonnenhöhen im Laufe des Tages zwischen weiteren Gränzen variiren (zwischen 0 und 63° für das mittlere Deutschland), als im Winter (zwischen 0 und 17° für den 50. Breitegrad), so ist klar, daß die Gränzen, zwischen welchen die Temperatur im Laufe eines Tages schwankt, im Sommer weiter aus einander liegen als im Winter. In der That beträgt z. B. für München die Differenz zwischen der höchsten und niedrigsten Temperatur des Tages im Monate Januar im Durchschnitt nur 2° C., während im Juli das tägliche Maximum durchschnittlich 6,2° höher ist als das tägliche Minimum.

Aus ähnlichen Gründen müssen nun auch die täglichen Temperaturschwankungen in den Aequatorialgegenden viel bedeutender sein als in höheren Breiten. Auch dies wird durch die Erfahrung bestätigt; so beobachtete z. B. Barth auf seiner Reise in das Innere von Afrika vom Aufgang der Sonne bis zum Nachmittage oft ein Steigen von 6 bis 30, ja von 8 bis 43° Celsius.

Im Allgemeinen bestätigt die Erfahrung allerdings die Resultate unserer obigen Raisonnements über den täglichen Gang der Wärme; sobald wir aber einzelne Tage herausgreifen, finden wir häufig solche Störungen des normalen Ganges, daß das Gesetz vollständig verwischt erscheint.

Von der Natur dieser Störungen und ihren Ursachen wird weiter unten die Rede sein.

Die Jahreszeiten. Die Sonne theilt nicht allein mit dem ganzen 281
Himmelsgewölbe die tägliche Umdrehung, sondern sie legt im Laufe eines Jahres am Himmelsgewölbe eine Bahn zurück, welche zur Hälfte nördlich, zur anderen Hälfte südlich von dem Himmelsäquator liegt. Eine Folge davon ist, daß wenigstens in den gemäßigten Zonen Tagesdauer und Mittagshöhe der Sonne ein halbes Jahr lang zunehmen, um dann in der folgenden Jahreshälfte in

Digitized by Google

gleicher Weise wieder abzunehmen. Dies hat dann den regelmäßigen Wechsel der Jahreszeiten zur Folge, deren Verlauf wir zunächst für die geographische Breite des mittleren Deutschland betrachten wollen.

Am 21. März passirt die Sonne den Himmelsäquator, um von der südlichen auf die nördliche Himmelskugel überzugehen. Tag und Nacht sind gleich lang, und die Mittagshöhe, zu welcher die Sonne ansteigt, beträgt 40°. Nun aber findet eine rasche Zunahme der Mittagshöhe der Sonne sowohl wie auch der Tagesdauer Statt; bei immer kräftiger werdender Insolation bleibt der Boden nun länger und länger dem erwärmenden Einflusse der Sonnenstrahlen ausgesetzt, die Lufttemperatur muß also steigen.

Allmälig wird die Zunahme der Tagesdauer und der Mittagshöhe langsamer, bis endlich am 21. Juni die Sonne ihre größte nördliche Breite erreicht, und somit auch der längste Tag von 16 Stunden und die größte Mittagshöhe der Sonne von $63^1/_2$ Graden eintritt.

Aus demselben Grunde, warum das tägliche Maximum der Temperatur nicht auf die Mittagsstunde fällt, tritt auch das jährliche Temperaturmaximum nicht mit dem längsten Tage ein, sondern später, so daß im Durchschnitt der Juli der heißeste Monat ist.

Nach dem längsten Tage nimmt die Tagesdauer und die Mittagshöhe der Sonne erst langsam, dann rascher ab, und mit der rascheren Abnahme beider stellt sich dann auch ein Sinken der Luftwärme ein. Am 22. September, dem Herbstäquinoctium, passirt die Sonne abermals den Himmelsäquator, um auf die südliche Hemisphäre der Himmelskugel überzugehen. Nun werden die Nächte länger als der Tag, die Mittagshöhe der Sonne nimmt mehr und mehr ab, bis sie am 21. December, als am kürzesten Tage (von 8 Stunden), ihr Minimum von 17 Grad erreicht. Unter diesen Umständen, da die Wirkung der ohnehin sehr schräg auffallenden Sonnenstrahlen nur auf wenige Stunden beschränkt bleibt, und der Boden die lange Nacht hindurch Wärme durch Ausstrahlung verliert, muß die Lufttemperatur bedeutend sinken; doch tritt das Minimum der Jahrestemperatur in der Regel erst gegen die Mitte des Januars ein, da unmittelbar nach dem kürzesten Tage die Zunahme der Tageslänge und der Mittagshöhe der Sonne noch zu unbedeutend ist, um ein Steigen der Temperatur bewirken zu können.

So ist denn im Allgemeinen der Gang der Lufttemperatur im Laufe des Jahres für Deutschland folgender: Von der Mitte Januar an steigt die Temperatur bis gegen die Mitte Juli, um von da allmälig bis zur Mitte Januar wieder abzunehmen. Das Steigen und Fallen der Temperatur ist am langsamsten vor und nach der Zeit des jährlichen Maximums und Minimums, am raschesten um die Zeit der Aequinoctien.

Die drei heißesten Monate, Juni, Juli und August, bilden den Sommer, die Zeit, in welcher die kräftigste Entwickelung der Vegetation vor sich geht. Den Winter bilden die drei kältesten Monate, December, Januar und Februar, während welcher die Vegetation fast gänzlich ruht. Während des Frühlings, März, April und Mai, findet ein allmäliges Erwachen, während des Herbstes,

Digitized by Google

September, October und November, ein allmäliges Absterben der Pflanzenwelt Statt.

Die Differenz zwischen der mittleren Temperatur des heißesten und des kältesten Monats beträgt für Deutschland im Durchschnitt 16° R.

Der oben beschriebene Wechsel der Jahreszeiten bezieht sich auf Länder mittlerer geographischer Breite; in höheren wie in niederen Breiten gestaltet sich die Sache wesentlich anders.

Unter höheren Breiten wird die Dauer des kürzesten Tages immer geringer, die Sonnenhöhe immer unbedeutender, die Winterkälte muß also gegen die Pole hin immer zunehmen; zugleich aber nimmt die Dauer des Winters zu, denn während der Aequinoctialperiode ist die Wirkung der Sonnenstrahlen in jenen Ländern noch viel zu gering, um Eis und Schnee zu schmelzen oder das Gefrieren des Wassers zu verhindern, der Winter erstreckt sich also noch über einen Theil der Monate, welche bei uns den Frühling und den Herbst ausmachen. Im Sommer aber wird die im Vergleich zu unseren Gegenden geringere Mittagshöhe der Sonne (unter dem 60. Breitengrade z. B , welcher ungefähr über Petersburg und Stockholm geht, ist der längste Tag 18½ Stunde, die höchste Mittagshöhe der Sonne 53½°) durch die längere Dauer der Sommertage nahezu wieder ausgeglichen, so daß die Sommerhitze immer noch eine sehr bedeutende werden kann. In jenen Gegenden herrscht also ein langer kalter Winter, welcher rasch in einen heißen kurzen Sommer übergeht, so daß die Uebergangs-Jahreszeiten, Frühling und Herbst, mehr und mehr verschwinden.

Innerhalb der Polarkreise fallen endlich die Sonnenstrahlen selbst zur Zeit der größten Sonnenhöhe noch so schräg auf, daß sie trotz der langen Tagesdauer keine kräftige Erwärmung hervorbringen können; statt des Sommers tritt nur eine mehr oder weniger bedeutende Unterbrechung in der Strenge der Winterkälte ein.

Wenden wir uns von Deutschland aus zu südlicheren Ländern, so muß dort aus zweierlei Gründen der Winter immer milder werden, denn einmal erreicht die Sonne selbst zur Zeit des Wintersolstitiums noch eine ziemlich bedeutende Mittagshöhe (unter dem 30. Breitengrade z. B. noch 36½°), während zugleich die Dauer der Wintertage größer ist als bei uns (für den 30. Breitengrad z. B. ist die Dauer des kürzesten Tages 10 Stunden 4 Minuten). Während so die Winterwärme steigt, wächst die Sommerwärme nicht in gleichem Maße, denn die Wirkung der größeren Sonnenhöhe wird dadurch zum Theil neutralisirt, daß die Sommertage nicht so lang sind als bei uns.

Die Differenz zwischen Sommer- und Wintertemperatur muß also um so mehr abnehmen, je mehr wir uns von den Polen aus den Wendekreisen nähern.

Innerhalb der Wendekreise aber verschwindet der Charakter unserer Jahreszeiten fast ganz. Auf dem Aequator passirt die Sonne zweimal, im März und September, das Zenith, während die niedrigste Mittagshöhe der Sonne (Ende Juni und December) noch 66½° beträgt. Bedenkt man ferner, daß auf dem Aequator das ganze Jahr hindurch Tag und Nacht gleich sind, so begreift man

Digitized by Google

leicht, daß die jährlichen Temperaturvariationen für die Aequatorialgegenden nur sehr unbedeutend sein können.

Vom Aequator aus gegen die Wendekreise hin wird allmälig der Charakter unserer Jahreszeiten wieder merklich, während er erst in den gemäßigten Zonen entschieden zur Geltung kommt.

In der südlichen gemäßigten Zone wechseln die Jahreszeiten wie bei uns, nur ist begreiflich dort Winter, wenn wir Sommer haben und umgekehrt.

Im Allgemeinen bestätigt die Erfahrung die Resultate der obigen Betrachtung. So beträgt z. B. die Differenz zwischen der mittleren Temperatur des heißesten und des kältesten Monats für

Quito	1,4° R.
Havannah	4,5
Mexico	6,3
Palermo	11,1
Rom	13,7
München	15,6
Prag	18,6
Moskau	23,5
Irkutzk	30,3
Jakutzk	50,8.

282 **Modificationen normaler Temperaturverhältnisse.** Die durch die Attraction der Sonne vorgeschriebene Bahn eines jeden Planeten wird durch den *störenden* Einfluß der übrigen kaum alterirt, die *Störungen* spielen hier nur eine untergeordnete Rolle. Anders ist es mit den klimatischen Verhältnissen. Allerdings ist der Erwärmungszustand der unteren Luftschichten eine Function der Insolationsverhältnisse, aber eine Function, in welcher mehrere mannigfach wechselnde Factoren eintreten, so daß die Störungen den regelmäßigen Gang oft gänzlich maskiren. Wäre die Natur der Erdoberfläche überall dieselbe (d. h. fehlte die Abwechselung zwischen Wasser und Land, zwischen Berg und Thal, zwischen bewaldetem und pflanzenleerem Boden), würde die Wirkung der Insolation nicht durch wechselnde Bewölkung des Himmels modificirt, und würde die Wärme nicht durch Luft und Meeresströmungen von einem Orte zum anderen fortgeführt, so müßten nicht allein alle Orte gleicher geographischer Breite gleiche klimatische Verhältnisse haben, sondern es müßten auch die täglichen und jährlichen Variationen der Lufttemperatur vollkommen regelmäßig verlaufen.

Dem ist aber in der That nicht so. — So hat z. B. Neapel eine mittlere Jahreswärme von 12,25°, während bei gleicher nördlicher Breite Newyork nur eine mittlere Jahreswärme von 8,7° hat. Christiania und Quebec haben fast gleiche mittlere Jahreswärme (4,2 und 4,4°) und doch liegt Quebec um mehr als 13 Breitengrade südlicher als Christiania. Ebenso ist an einem und demselben Orte der Gang der Wärme von einem Jahr zum anderen sehr verschieden, und demselben Jahrestage entspricht keineswegs stets dieselbe Temperatur, wie

Digitized by Google

es sein müßte, wenn die Luftwärme allein vom Sonnenstande abhinge. So war z. B. zu Frankfurt am Main — 14° R. die mittlere Temperatur des 22. Januar 1850, + 8,5° R. die desselben Tages im Jahre 1846. — Im Jahre 1846 war zu Frankfurt am Main der 22. Januar um 2° wärmer als der 14. Mai. Ebendaselbst fiel im Jahre 1841 der heißeste Tag auf den 24. Mai (mit 20° R.), im Jahre 1842 aber auf den 19. August (mit 21° R.).

Solche Anomalien zeigen deutlich, wie sehr die Luftwärme außer den Insolationsverhältnissen noch von anderen mächtig influirenden und veränderlichen Factoren bedingt werde. Wenn am 22. Januar 1846 zu Frankfurt am Main eine Wärme von 8½° R. herrschte, so konnte diese hohe Temperatur unmöglich direct durch die Sonnenstrahlen hervorgerufen sein, und zwar um so weniger, als jener Tag ein durchaus bewölkter Regentag war; die damals herrschenden Südwestwinde hatten die Wärme offenbar aus südlicheren Gegenden zugeführt; ebenso wie die verhältnißmäßig niedrige Temperatur des 14. Mai nur das Resultat rauher Nordostwinde war.

Aus alle dem geht hervor, daß man die Temperaturverhältnisse eines Ortes nicht aus theoretischen Betrachtungen ableiten, sondern daß man sie nur durch längere Zeit fortgesetzte Beobachtungen ermitteln kann.

Mittlere Temperatur der Tage, der Monate und des Jahres. 283 Wenn man von einer Mitternacht bis zur nächsten alle Stunden ein zweckmäßig aufgestelltes Thermometer beobachtet und aus den 24 Beobachtungen das Mittel nimmt, so erhält man die mittlere Temperatur des Tages.

Solche stündliche Beobachtungen einige Zeit lang mit ununterbrochener Regelmäßigkeit anzustellen, ist ungemein mühsam, selbst wenn sich mehrere Personen in das Geschäft theilen. Man hat deshalb andere Methoden in Vorschlag gebracht, um die mittlere Temperatur eines Tages zu finden. Man erhält dieselbe z. B. sehr nahe richtig, wenn man um 7 Uhr Morgens, um 2 Uhr Nachmittags und um 9 Uhr Abends die Lufttemperatur beobachtet und aus diesen drei Beobachtungen das Mittel zieht. Andere ganz passende Beobachtungsstunden, deren Mittel gleichfalls das Tagesmittel repräsentiren, sind 7 Uhr Morgens und 7 Uhr Abends. Endlich findet man auch das Tagesmittel, wenn man aus dem innerhalb 24 Stunden beobachteten Maximum und Minimum der Temperatur das Mittel nimmt.

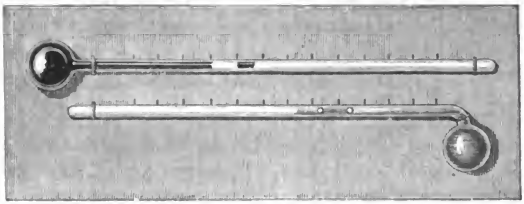
Um die höchste und niedrigste Temperatur zu erfahren, welche innerhalb 24 Stunden geherrscht hat, ohne daß man deshalb gerade zur Zeit des Maximums und des Minimums das Thermometer zu beobachten braucht, kann man den Fig. 545 (a. f. S.) abgebildeten Thermometrographen anwenden; er besteht aus zwei Thermometern, deren Röhren wagerecht liegen, und von denen das eine ein Quecksilberthermometer, das andere ein Weingeistthermometer ist. In der Röhre des Quecksilberthermometers liegt ein Stahlstiftchen, welches durch die Quecksilbersäule fortgeschoben wird, wenn sich das Quecksilber in der Kugel dieses Thermometers ausdehnt; wenn nun aber das Thermometer erkaltet, so zieht sich die Quecksilbersäule wieder zurück, das Stahlstäbchen aber bleibt an der Stelle

Digitized by Google

liegen, bis zu welcher es bei dem höchsten Stande des Thermometers geschoben worden war; ein solches Thermometer giebt also das Maximum der Temperatur an, welches innerhalb einer gewissen Periode geherrscht hat.

In der Röhre des Weingeistthermometers liegt ein ganz feines Glasstäbchen, welches an beiden Enden etwas dicker ist, wie man Fig 545 deutlich sieht;

Fig. 545.



das Glasstäbchen liegt noch in dem Weingeistsäulchen, und wenn der Weingeist in der Kugel erkaltet und sich die Weingeistsäule in der Röhre bis an das erste Knöpfchen des Glasstäbchens zurückgezogen hat, so wird bei fernerem Sinken der Temperatur das Glasstäbchen in Folge der Adhäsion zwischen Weingeist und Glas von der noch weiter sich zurückziehenden Weingeistsäule mitgenommen; wenn aber die Flüssigkeit in der Kugel wieder wärmer wird, so geht beim Steigen des Thermometers die Flüssigkeit an dem Stäbchen vorbei, ohne es fortzuschieben; das Stäbchen, welches von dunkelfarbigem Glase gemacht sein muß, damit man es deutlich sehen kann, bleibt also an der Stelle liegen, welche dem Minimum der Temperatur entspricht, die innerhalb eines gewissen Zeitraumes herrschte.

Wenn die Kugel des einen Thermometers auf der rechten Seite liegt, so liegt die des anderen links, wenn man den ganzen Apparat etwas neigt und leise daran stößt, so daß das Stahlstäbchen durch sein Gewicht bis auf die Quecksilbersäule, das Glasstäbchen aber bis an das Ende der Weingeistsäule fällt. Wenn man das so vorgerichtete Instrument stehen läßt, so wird bei jedem Steigen der Temperatur das Stahlstäbchen fortgeschoben, das Glasstäbchen aber bei jedem Sinken der Temperatur zurückgezogen.

Dieses Instrument ist besonders geeignet, um das Maximum und Minimum der täglichen Temperatur anzugeben. Wenn man es etwa jeden Abend in Stand setzt, so kann man den folgenden Abend ablesen, welches die höchste und welches die niedrigste Temperatur während der letzten 24 Stunden war.

Hat man auf die eine oder andere Weise die mittlere Temperatur aller Tage eines Monates ermittelt, so erhält man die mittlere Temperatur des Monates, wenn man aus den 30 oder 31 Tagesmitteln wieder das Mittel nimmt.

Die aus den 12 Monatsmitteln gezogene Mittelzahl giebt dann die mittlere Temperatur des ganzen Jahres an.

So ergeben sich z. B. aus den zu Berlin angestellten Beobachtungen fol-

Digitized by Google

gende Mittelwerthe für die Temperatur der einzelnen Monate und des ganzen Jahres von 1829 bis 1834:

	1829	1830	1831	1832	1833	1834	*D*
Januar	— 4,66	— 6,11	— 3,71	— 1,13	— 2,69	— 2,83	— 1,90
Februar	— 2,88	— 3,40	0,60	0,97	3,01	1,16	— 0,15
März	1,38	3,88	3,14	3,16	1,77	3,74	2,74
April	7,19	8,41	9,00	7,20	5,06	6,20	6,88
Mai	9,49	11,22	9,98	9,49	14,38	12,74	10,92
Juni	14,56	14,01	12,60	13,61	15,27	15,17	13,94
Juli	15,43	15,39	15,40	12,64	14,59	18,69	15,04
August	13,85	14,17	14,63	14,65	11,31	16,77	14,43
September . . .	11,59	11,18	10,53	10,53	11,27	12,49	11,75
October	6,35	7,28	9,74	7,62	7,04	7,69	7,97
November	0,71	4,72	2,71	2,62	3,39	3,81	3,25
December	— 6,93	— 0,47	1,43	1,08	3,80	1,68	1,32
Jahr	5,50	6,77	7,16	6,86	7,35	8,58	7,18

Hat man für einen Ort die mittlere Temperatur der einzelnen Monate und des ganzen Jahres während eines längeren Zeitraumes ermittelt, so ergiebt sich das allgemeine Monatsmittel, wenn man die Mitteltemperaturen desselben Monates, wie man sie in den einzelnen Jahren erhalten hat, addirt und die erhaltene Summe durch die Zahl der Beobachtungsjahre dividirt. Auf diese Weise haben sich aus einer Reihe von 24 Beobachtungsjahren die allgemeinen Monatsmittel für Berlin ergeben, wie man sie in der letzten Columne obiger Tabelle unter *D* findet.

Auf gleiche Weise ergiebt sich das allgemeine Jahresmittel, welches für Berlin 7,18° R. ist.

Je länger die Beobachtungsreihen fortgesetzt sind, desto richtiger werden die aus ihnen berechneten allgemeinen Monats- und Jahresmittel.

Jahresisothermen. Um den normalen Gang der Wärme für irgend 284
einen Ort zu ermitteln, muß man durch möglichst lange fortgesetzte Beobachtungen das allgemeine Mittel der einzelnen Monate bestimmen, und um ein wahres Bild der Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche zu erhalten, muß man die Beobachtungsresultate der verschiedensten Weltgegenden zusammenstellen. Die Zahlen der folgenden Tabelle sind dem reichen Material entnommen, welches Dove gesammelt und in den Abhandlungen der Berliner Akademie veröffentlicht hat.

Die Temperaturangaben dieser Tabelle beziehen sich auf Reaumur'sche Grade, da diese Scala für Witterungsbeobachtungen die verbreitetste ist.

Digitized by Google

	Geographische Breite.	Mittlere Temperatur des Jahres.	des heißesten Monats.	des kältesten Monats.
Singapore	1°17′	21,6	22,4	20,6
Guinea	5 30	21,9	23,0	20,0
Paramaribo	5 45	21,5	22,9	20,4
Batavia	6 9	20,6	21,3	19,1
Kouka	13 10	22,9	26,8	17,7
Domingo	18 29	21,9	24,0	20,0
Calcutta	22 38	22,4	25,9	16,6
Rio Janeiro	22 54 S	18,6	21,4	15,6
Havannah	23 9	20,1	22,0	17,5
Cairo	30 2	17,8	23,9	10,7
Bermudas	32 30	15,7	19,9	11,0
Funchal	32 38	15,8	18,6	13,8
Capstadt	33 56 S	15,3	19,5	11,4
Adelaide	34 35 S	16,2	23,3	9,9
Gibraltar	36 7	15,7	21,1	11,4
Algier	36 47	14,3	19,8	9,3
Peking	39 54	10,1	22,0	— 3,0
New-York	40 43	8,7	18,3	— 3,4
Neapel	40 52	12,2	19,0	6,5
Rom	41 54	12,66	19,5	5,8
Albany	42 39	7,2	17,8	— 3,6
Hobart-Town	42 53 S	9,1	13,8	3,6
Sebastopol	44 36	9,3	17,4	1,0
Halifax	44 39	3,6	16,9	— 6,2
Bordeaux	44 50	11,1	18,3	4,0
Astrachan	46 21	8,2	20,3	— 8,6
Quebec	46 48	4,4	18,4	— 8,6
Fort Vancouver	48 37	8,8	15,1	2,7
Paris	48 50	8,6	15,0	1,5
Carlsruhe	49 1	8,3	15,8	— 0,14
Prag	50 5	8,1		
Frankfurt a. M.	50 10	7,8	15,1	— 0,24
Brüssel	50 51	8,3	14,4	1,5
Breslau	51 3	6,6	14,8	— 1,8
Düsseldorf	51 14	8,8	15,3	1,4
London	51 30	8,3	14,0	2,2

Digitized by Google

	Geographische Breite.	Mittlere Temperatur des Jahres.	des heißesten Monats	des kältesten Monats.
Falklands-Inseln . . .	52° 0′	6,8	10,6	2,4
Irkutzk	52 17	0,3	14,6	— 15,7
Amsterdam	52 23	7,9	14,8	0,5
Berlin	52 30	7,2	15,0	— 1,9
Barnaul	53 20	— 0,3	15,8	— 16,7
Dublin	53 21	7,6	12,7	2,9
Moskau	55 45	3,6	15,3	— 8,2
Edinburg	55 58	6,7	12,8	2,4
Sitcha	57 3	6,0	11,5	1,0
Nain	57 10	— 1,7	4,6	— 13,8
Petersburg	59 56	3,4	14,1	— 8,4
Bergen	60 24	6,6	12,6	1,34
Jakutzk	62 1	— 8,25	16,3	— 34,4
Reikiavik	64 8	3,3	10,7	— 1,0
Archangel	64 32	0,68	12,8	— 11
Fort Franklin	65 12	— 6,6		
Tornea	66 24	— 0,42	13,1	— 12,7
Boethia Felix	69 59	— 12,6		
Ustjansk	70 58	— 12,4		
Nordcap	71 10	0,11	6,4	— 4,4
Melville-Inseln	74 47	— 13,7	4,6	— 28,1

Eine südliche Breite ist in dieser Tabelle durch S bezeichnet, wo dagegen keine weitere Bezeichnung beigefügt ist, ist von einer nördlichen Breite die Rede.

Eine klare Uebersicht über die Vertheilung der Wärme auf der Erde hat zuerst Humboldt durch seine isothermischen Linien möglich gemacht, durch welche er alle solche Orte derselben Hemisphäre verband, welche gleiche mittlere Jahreswärme haben.

Denken wir uns z. B., daß ein Reisender, von Paris ausgehend, eine Reise um die Erde in der Weise macht, daß er alle Orte der nördlichen Halbkugel besucht, welche dieselbe mittlere Jahreswärme haben wie Paris, nämlich 10,8° C. oder 8,6° R., so wird der Weg, den er auf diese Weise zurücklegt, eine Linie gleicher mittlerer Jahreswärme, also eine isotherme Linie sein; diese Linie fällt aber nicht mit dem Breitengrade von Paris zusammen, sie ist unregelmäßig und gekrümmt, d. h. sie geht durch Orte, welche eine ganz andere Breite haben als Paris.

Digitized by Google

Die Karte Fig. 546 stellt die Erdoberfläche in Aequatorial-Projection mit den Isothermen von 4 zu 4° R. dar; außerdem befinden sich noch innerhalb

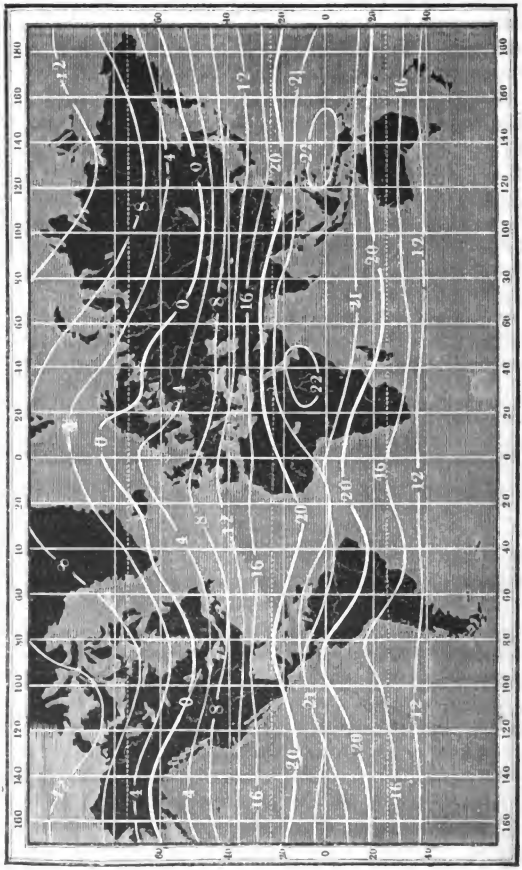


Fig. 546.

des Gürtels, für welchen die mittlere Jahreswärme 20° R. übersteigt, die Curven von 21 und 22° mittlerer Jahreswärme.

Die Anschauung dieser Karte erspart uns eine weitere Beschreibung des Laufes der Isothermen. Man sieht, daß ihre Krümmungen in der nördlichen

Digitized by Google

Halbkugel um so bedeutender werden, je weiter man sich vom Aequator entfernt; die Isotherme von 0° z. B. steigt von dem südlichen Ende der Küste von Labrador über Island nach dem Nordcap, um sich im Innern von Asien wieder bedeutend zu senken.

Da, wo sich die Isothermen am weitesten nach Süden herabsenken, bilden sie einen concaven, da, wo sie am höchsten nach Norden steigen, bilden sie einen convexen Gipfel. Die südlichen Wendepunkte der Isothermen liegen im östlichen Nordamerika und im Innern von Asien, die nördlichen Wendepunkte dagegen liegen an den Westküsten von Europa und Amerika.

Die Temperaturverhältnisse der südlichen Hemisphäre sind uns bei Weitem nicht so vollständig bekannt wie die der nördlichen, doch ist es wohl als ausgemacht zu betrachten, daß die südliche Halbkugel kälter ist als die nördliche; dieser Unterschied möchte aber wohl geringer sein, als man vielfach anzunehmen geneigt ist. Was vielleicht dazu beigetragen hat, die südliche Halbkugel für so bedeutend kälter zu halten als die nördliche, ist wohl der Umstand, daß man die Temperaturverhältnisse der südlichsten Theile von Amerika mit den Temperaturverhältnissen gleicher nördlicher Breiten in Europa verglichen hat, wo ja die Isothermen so außerordentlich weit nach Norden in die Höhe steigen; die Sache stellt sich ganz anders, wenn man die Gegenden von Südamerika mit solchen vergleicht, welche gleich weit vom Aequator an der Ostküste von Nordamerika liegen.

Daß die südliche Halbkugel etwas kälter ist als die nördliche, rührt wohl daher, daß auf der nördlichen das Land, auf der südlichen hingegen das Meer vorherrscht. Das feste Land erwärmt sich durch die Absorption der Sonnenstrahlen weit mehr als das Meer, welches einen großen Theil dieser Strahlen reflectirt.

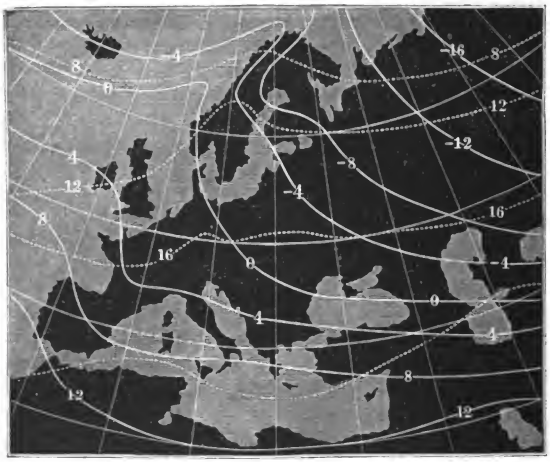
Isotheren und Isochimenen. Daß nicht alle Orte, welche auf 285
demselben Parallelkreise liegen, gleiches Klima haben, ist bereits angeführt worden, es fragt sich aber nun, ob denn alle Orte, welche auf derselben Isotherme liegen, alle Orte also, für welche die mittlere Jahreswärme gleich ist, auch sonst gleiche klimatische Verhältnisse haben. Man braucht nur die Tabelle auf Seite 522 und 523 anzusehen, um sich zu überzeugen, daß dies nicht der Fall ist. Edinburg und Breslau haben gleiche mittlere Jahreswärme von 6,6°, in Edinburg ist aber die mittlere Temperatur des kältesten Monats 2,4°, in Breslau — 1,8°; Breslau hat also einen weit kälteren Winter als Edinburg, dagegen ist die mittlere Sommertemperatur für Breslau 14,8, für Edinburg nur 12,8°. Bei gleicher mittlerer Jahrestemperatur hat also Edinburg einen gelinderen Winter und einen kühleren Sommer als Breslau.

Um die Wärmeverhältnisse eines Landes zu kennen, reicht es also nicht hin, daß man weiß, welches seine mittlere Jahrestemperatur ist, man muß auch wissen, wie die Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten vertheilt ist. Diese Vertheilung kann man auf einer Isothermenkarte dadurch zeigen, daß man, nach Humboldt's Beispiele, an den verschiedenen Stellen einer und derselben Iso-

Digitized by Google

therme die mittlere Sommer- und Wintertemperatur beschreibt, was in unserer Isothermenkarte wegen ihrer Kleinheit nicht möglich war; man sieht alsdann bald, daß gerade in der Nähe der convexen Gipfel der Isothermen auch die Differenzen zwischen der mittleren Sommer- und Wintertemperatur am geringsten sind; dieselben Ursachen also, welche machen, daß die Isothermen an den Westküsten von Europa und Amerika so hoch nach Norden steigen, machen auch die Differenz zwischen der Sommer- und Wintertemperatur geringer. Eine sehr gute Uebersicht in Beziehung auf die Vertheilung der Wärme zwischen Winter und Sommer gewährt eine Karte, in welcher man alle Orte durch Curven verbindet, welche gleiche mittlere Wintertemperatur, und diejenigen, welche gleiche mittlere Sommertemperatur haben. Die Linien gleicher mittlerer Wintertemperatur heißen Isochimenen, die Linien gleicher mittlerer Sommertemperatur heißen Isotheren. Fig. 547 stellt ein Kärtchen von Europa mit den Isotheren und Isochimenen von 4 zu 4 Grad Réaumur dar.

Fig. 547.



Die ausgezogenen Curven sind die Isochimenen, die punktirten sind die Isotheren. Man ersieht aus dieser Karte leicht, daß die Westküste des südlichen Theiles von Norwegen, Dänemark, ein Theil von Böhmen und Ungarn, Siebenbürgen, Bessarabien und die Südspitze der Halbinsel Krim gleiche mittlere Wintertemperatur von 0° haben. Böhmen hat aber einen gleichen Sommer mit dem Ausflusse der Garonne, und in der Krim ist der Sommer noch weit wärmer. Dublin hat gleiche mittlere Wintertemperatur, nämlich 4°, mit Nantes, Oberitalien und Constantinopel, und gleiche mittlere Sommerwärme mit Drontheim und Finnland.

Digitized by Google

Die Isothere von 16° geht von dem Ausflusse der Garonne ungefähr über Straßburg und Würzburg nach Böhmen, der Ukraine, dem Lande der Donischen Kosacken und geht etwas nördlich vom Caspischen Meere vorbei; wie ungleich ist aber die mittlere Wintertemperatur an verschiedenen Orten dieser Isothere! An der Westküste von Frankreich ist sie 4°, in Böhmen 0°, in der Ukraine — 4° und etwas nördlich vom Caspischen Meere gar — 8°.

Land- und Seeklima. Die Betrachtung der letzten Karte und der 286
Tabelle auf Seite 522 und 523 führt uns zu der wichtigen Unterscheidung zwischen Land- und Seeklima oder, wie man es auch ausdrückt, zwischen Continental- und Küstenklima. Die Differenzen zwischen der Sommer- und Wintertemperatur wachsen mit der Entfernung vom Meere; an den Meeresküsten herrschen kühle Sommer und milde Winter, im Innern des Landes heiße Sommer und kalte Winter. Diese Differenzen treten sehr lebhaft hervor, wenn man die Temperaturverhältnisse der Westküsten von Europa mit denen des nördlichen Asiens vergleicht. Um das Verhältniß der mittleren Jahreswärme zu der Vertheilung der Wärme leicht ersehen zu können, ist in den folgenden, der Tabelle S. 522 entnommenen Beispielen die mittlere Jahreswärme vor, die mittlere Wärme des heißesten Monats über, die mittlere Temperatur des kältesten Monats unter einen Horizontalstrich gesetzt.

Küstenklima:			Continentalklima:		
Nordcap	0,1	$\frac{6,4}{-4,4}$	Jakutzk	— 8,2	$\frac{16,3}{-34,4}$
Reikiavik . . .	3,3	$\frac{10,7}{-1,0}$	Irkutzk	0,3	$\frac{14,6}{-15,7}$
			Moskau . . .	3,6	$\frac{15,3}{-8,2}$

Welchen Einfluß solche klimatische Verschiedenheiten auf die Vegetation ausüben müssen, ist klar. An mehreren Orten Sibiriens, in Jakutzk z. B., wo die mittlere Jahrestemperatur — 8,2° R. ist, die mittlere Januartemperatur aber — 34,4° R. beträgt, wird während des kurzen, aber heißen Sommers Gerste und Roggen auf einem Boden gebaut, welcher in einer Tiefe von 3 Fuß beständig gefroren bleibt; dagegen ist auf der Insel Island bei ungleich höherer Jahrestemperatur und bei einer unbedeutenden Winterkälte an den Bau von Cerealien nicht mehr zu denken, weil die niedrige Sommertemperatur nicht hinreicht, sie zur Reife zu bringen.

Im nordöstlichen Irland, wo im Winter kaum Eis friert, in gleicher Breite mit Königsberg, gedeiht die Myrthe so kräftig wie in Portugal; auf den Küsten von Devonshire überwintert die Camelia japonica und die Fuchsia coccinea im Freien; der Winter ist in Plymouth nicht kälter als in Florenz und Montpellier: der Weinbau gedeiht aber nicht in England, weil die Rebe wohl eine ziemlich starke Winterkälte vertragen kann, aber eines heißen Sommers bedarf, wenn die Trauben reifen und einen trinkbaren Wein liefern sollen.

Digitized by Google

Diese Unterschiede rühren daher, daß das feste Land, die Wärmestrahlen leichter absorbirend und ausstrahlend, sich schneller erwärmt und leichter wieder erkaltet, als das Meer, welches, überall von gleichförmiger Natur, wegen seiner Durchsichtigkeit, wegen der bedeutenden specifischen Wärme des Wassers nicht so schnell erwärmt wird, die einmal erlangte Wärme aber auch nicht so schnell abgiebt Die Temperatur der Meeresoberfläche ist deshalb weit gleichförmiger; sowohl die täglichen als auch die jährlichen Temperaturschwankungen sind ungleich geringer als in der Mitte der großen Continente, und dadurch ist gerade der schon oben erwähnte Unterschied zwischen Land- und Seeklima bedingt, welcher dadurch größer wird, daß an den Küsten der nördlich gelegenen Länder der Himmel meistens bedeckt ist, was sowohl den wärmenden Einfluß der Sonnenstrahlen im Sommer mäßigt als auch die starke Erkaltung des Bodens durch Wärmestrahlung im Winter hindert.

287 **Ursachen der Biegung der Isothermen.** Die wichtigsten Ursachen, welche bewirken, daß die Isothermen an den Westküsten von Europa und Amerika so stark nach Norden sich biegen, sind im Wesentlichen folgende.

In der nördlichen gemäßigten Zone sind die Südwest- und die Nordostwinde die vorherrschenden. Der Südwestwind kommt aus den Aequatorialgegenden und führt die Wärme der Tropen zum Theil nach den kälteren Ländern; dieser erwärmende Einfluß der Südwestwinde wird aber in solchen Ländern vorzugsweise merklich werden, welche der südwestlichen Luftströmung am meisten ausgesetzt sind, und somit erklärt sich, daß die Westküsten der großen Continente wärmer sind als die Ostküsten, daß die Isothermen in Europa, welches eigentlich nur eine halbinselförmige Verlängerung des asiatischen Continents ist, und an den Westküsten von Nordamerika weiter nach Norden steigen als im Innern von Asien und an den Ostküsten von Nordamerika.

Ein zweiter Umstand, welchem Europa sein verhältnißmäßig warmes Klima verdankt, ist der, daß sich im Süden von Europa, in der Aequatorialzone, nicht ein Meer, sondern ein ausgebreitetes Land, nämlich Afrika, befindet, dessen großentheils kahler und sandiger Boden unter dem Einflusse der senkrecht auffallenden Sonnenstrahlen außerordentlich heiß wird. Ein warmer Luftstrom steigt beständig von den glühenden Sandwüsten in die Höhe, um sich dann in Europa wieder herabzusenken.

Endlich trägt eine unter dem Namen des Golfstromes bekannte Meeresströmung sehr zur Milderung des europäischen Klimas bei. Der Ursprung dieses Stromes ist im mexicanischen Meerbusen zu suchen, wo das Meerwasser bis zu einer Temperatur von 24° R. erwärmt wird. Zwischen Cuba und Florida aus dem mexicanischen Meerbusen heraustretend, folgt der Strom anfangs den amerikanischen Küsten, um sich dann mit stets zunehmender Breite und abnehmender Temperatur östlich nach Europa hinzuwenden. Wenn auch der Golfstrom selbst nicht bis an die Küsten von Europa reicht, so verbreitet sich doch sein warmes Wasser, namentlich unter dem Einflusse der vorherrschenden Süd-

Digitized by Google

westwinde, in den europäischen Gewässern, was schon daraus hervorgeht, daß man an den westlichen Küsten von Irland und an den Küsten von Norwegen Früchte von Bäumen findet, die in der heißen Zone Amerikas wachsen; die West- und Südwestwinde bleiben also lange mit einem Meerwasser in Berührung, dessen Temperatur zwischen dem 45. und 50. Breitengrade selbst im Januar nicht unter 7 bis 8° R. sinkt. Unter dem Einfluß dieses Golfstromes ist das nördliche Europa durch ein eisfreies Meer von dem Gürtel des Polareises getrennt; selbst in der kältesten Jahreszeit erreicht die Gränze des Polareises nicht die europäischen Küsten.

Während so alle Umstände zusammenwirken, um die Temperatur in Europa zu erhöhen, wirken im nördlichen Asien mehrere Ursachen zusammen, um die Isothermen bedeutend herabzusenken. Im Süden von Asien liegen zwischen den Wendekreisen keine bedeutenden Ländermassen, nur einige asiatische Halbinseln ragen in die heiße Zone hinein; das Meer aber erwärmt sich nicht so stark wie die afrikanischen Wüsten, theils weil das Wasser die Wärmestrahlen ungleich weniger absorbirt, theils aber auch, weil bei der fortwährenden Verdampfung von Wasser auf der Oberfläche des Meeres sehr viel Wärme gebunden wird. Die warmen Luftströme, welche, aus dem Becken des indischen Oceans aufsteigend, die Wärme der Tropen dem inneren und nördlichen Asien zuführen könnten, werden aber durch die ungeheuren Gebirgsketten im Süden von Asien aufgehalten, während das nach Norden hin allmälig sich verflachende Land den Nord- und den Nordostwinden preisgegeben ist. Während sich Europa nicht weit nach Norden erstreckt, ragt Asien weit in das nördliche Eismeer hinein, welches hier allen wärmenden Einflüssen entzogen, durch welche die Temperatur der europäischen Meere erhöht wird, fast immer mit Eis bedeckt ist. Ueberall reichen die Nordküsten von Asien bis an die Wintergränze des Polareises, und die Sommergränze dieses Eises entfernt sich nur auf kurze Zeit an einigen Stellen von den Küsten; daß aber dieser Umstand die Temperatur bedeutend erniedrigen muß, ist klar, wenn man bedenkt, wie viel Wärme bei der Schmelzung solcher Eismassen gebunden wird.

Die bedeutende Senkung der Isothermen im Innern und an den Ostküsten von Nordamerika rührt zum Theil daher, daß die Südwestwinde hier nicht mehr Seewinde, sondern Landwinde sind und deshalb hier nicht mehr den mildernden Einfluß ausüben können wie auf den Westküsten. Während die europäischen Küsten vom wärmeren Wasser bespült sind, ziehen sich an den Ostküsten von Nordamerika kalte Meeresströmungen von Norden nach Süden. Eine solche Strömung, von Spitzbergen herkommend, geht zwischen Island und Grönland hindurch und vereinigt sich dann mit den aus der Hudsons- und Baffinsbai kommenden Strömungen, um an der Küste von Labrador herab, bei Neufoundland vorbei zu treiben und sich unter dem 44 Breitengrade unter den Golfstrom zu ergießen. Diese arktische Strömung trägt die Kälte der Polarregionen theils durch die niedrige Temperatur des Wassers, größtentheils aber durch die schwimmenden Eisberge in die südlicheren Gegenden, und so ist diese Strömung

Digitized by Google

ein Hauptgrund der bedeutenden Senkung der Isothermen an den Ostküsten von Amerika.

288 **Temperatur des Bodens.** Wir haben bisher nur immer die Temperatur der Luft, aber nicht die Temperatur der oberen Bodenschichten besprochen, welche je nach der Natur der Bodenfläche oft bedeutend von der Lufttemperatur verschieden sein kann; ein nackter, des Pflanzenwuchses beraubter steiniger oder sandiger Boden wird durch die Absorption der Sonnenstrahlen weit heißer, ein mit Pflanzen bedeckter Boden, z. B. ein Wiesengrund, wird durch die nächtliche Strahlung weit kälter als die Luft, deren Temperatur schon durch die fortwährenden Luftströmungen mehr ausgeglichen wird. In den afrikanischen Wüsten steigt die Hitze des Sandes oft auf 40 bis 48° R. Ein mit Pflanzen bedeckter Boden bleibt kühler, weil die Sonnenstrahlen ihn nicht direct treffen können; die Pflanzen selbst binden gewissermaßen eine bedeutende Wärmemenge, indem durch die Vegetation eine Menge Wasser verdunstet; sie erkalten aber auch, wie wir bald näher sehen werden, wenn wir die Thaubildung betrachten, bei ihrem großen Emissionsvermögen durch Ausstrahlung der Wärme so stark, daß die Temperatur des Grases oft 6 bis 9 Grad unter die Temperatur der Luft sinkt. Im Innern der Wälder ist die Luft beständig kühl, weil die dichte Laubdecke auf dieselbe Weise abkühlend wirkt wie eine Grasdecke, und weil die an den Gipfeln der Bäume abgekühlte Luft sich niedersenkt.

Wegen des unvollkommenen Wärmeleitungsvermögens kann die Wärme der obersten Bodenschichten nur nach und nach in das Innere eindringen; wenn die Oberfläche aber erkaltet, so verlieren die tieferen Bodenschichten weniger schnell ihre Wärme; in einer geringen Tiefe werden deshalb die Temperaturschwankungen weit geringer sein als an der Oberfläche selbst. In Deutschland verschwinden bei einer Tiefe von 6 Decimetern die täglichen Temperaturschwankungen, und in einer Tiefe von 24 Metern verschwinden sogar die jährlichen Variationen, so daß hier beständig eine Temperatur herrscht, welche nur wenig von der mittleren Temperatur des Ortes abweicht.

Obgleich alle Wärme auf der Oberfläche der Erde nur von der Sonne kommt, so hat doch die Erde auch ihre eigenthümliche Wärme, wie aus der Temperaturzunahme folgt, welche man in großen Tiefen beobachtet hat. Wenn die Wärme nach dem Mittelpunkte der Erde hin auch in größerer Tiefe noch in dem Maße zunähme, welches uns diese Beobachtungen zeigen, so müßte schon in einer Tiefe von 10,000 Fuß die Temperatur des siedenden Wassers herrschen, im Mittelpunkte der Erde aber müßten alle Körper glühend sein und im geschmolzenen Zustande sich befinden. Daß wir von dieser ungeheuren Hitze im Innern der Erde auf der Oberfläche nichts merken, läßt sich durch das schlechte Leitungsvermögen der erkalteten Erdkruste erklären, welche diesen glühenden Kern einschließt.

Die meisten wasserreichen Quellen haben eine Temperatur, welche sich in den verschiedenen Jahreszeiten nur sehr wenig ändert; in unserer Hemisphäre

Digitized by Google

erreichen sie meistens ihre höchste Temperatur im September, die niedrigste im März, die Differenz ihrer höchsten und ihrer niedrigsten Temperatur beträgt in der Regel nur 1 bis 2°.

Quellen, welche aus größeren Tiefen kommen, haben eine weit höhere Temperatur, wie dies bei vielen Salzquellen und sonstigen Mineralquellen der Fall ist. Das Wasser mancher Quellen hat fast die Temperatur des Siedpunktes.

Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen. 289 Die Erwärmung der Luft hat zwei Ursachen; zunächst absorbirt sie einen Theil der von der Sonne kommenden Wärmestrahlen; weil aber die Luft die Wärmestrahlen ungleich weniger absorbirt als die Erdoberfläche, so ist auch die Erwärmung der Luft durch die Absorption der Wärmestrahlen ungleich geringer als die Erwärmung des Bodens; den bedeutendsten Antheil ihrer Wärme erhält die Atmosphäre von unten her.

Wäre die Luft keine elastische Flüssigkeit, bliebe die Dichtigkeit der Atmosphäre für alle Höhen dieselbe, so würden die am Boden erwärmten Luftschichten bis an die Gränze der Atmosphäre steigen, die obersten Schichten des Luftmeeres, welches unsere Erde einhüllt, würden auch die wärmsten sein. Weil sich aber die warmen Luftschichten bei ihrem Aufsteigen ausdehnen, so wird bei dieser Ausdehnung Wärme gebunden, ihre Temperatur muß sinken, und so kommt es, daß die höheren Luftschichten kälter sind als die tieferen.

Daß eine solche Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen wirklich stattfindet, davon überzeugt man sich, wenn man zu diesen höheren Regionen aufsteigt, mag man sich nun in einem Luftballon erheben oder den Gipfel hoher Berge besteigen.

In den Alpen entspricht im Durchschnitt eine Erhebung von 180 Metern einer Temperaturerniedrigung von 1°.

Eine Folge der mit der Höhe abnehmenden Temperatur ist, daß die Gipfel hoher Berge stets mit Schnee bedeckt sind.

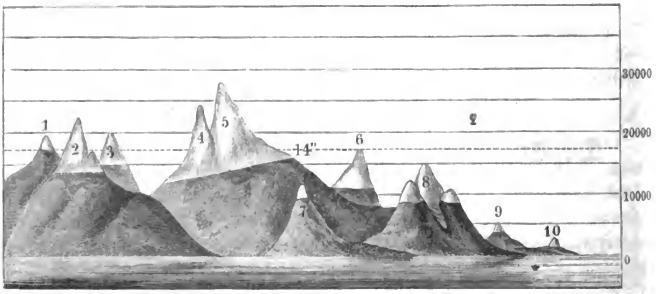
Die Gränze des ewigen Schnees liegt natürlich um so höher, je mehr man sich der heißen Zone nähert. Die Höhe der Schneegränze ist für

die Küste von Norwegen	720	Meter
Island	936	„
Alpen	2708	„
Aetna	2905	„
Himalaya	4500	„
Mexico	4500	„
Quito	4800	„

Digitized by Google

Fig. 548 stellt die Höhenverhältnisse der Schneegränze in verschiedenen Gegenden dar, und zwar sind Nro. 1, 2 und 3 der Illimani, der Aconcagua und

Fig. 548.



der Chimborazzo in Südamerika; 4, 5 und 6 der Schamalari, der Dhawalagiri, und der Kaukasus in Asien. Nr. 7 stellt die Pyrenäen und 8 die Alpen dar, Nr. 9 den Sulitelma in Norwegen und Nr. 10 die Insel Magerö.

Die auf der rechten Seite der Fig. 548 beigesetzten Zahlen geben die entsprechenden Höhen in Pariser Fuß an.

Digitized by Google

Zweites Capitel.

Die Atmosphäre, ihr Druck und ihre Strömungen.

Die Lufthülle der Erde. Die feste, zum Theil mit Wasser bedeckte 290
Erdkugel ist mit einer gasförmigen Hülle umgeben, welche man mit dem Namen der Atmosphäre bezeichnet. Das Gasgemenge, aus welchem die Atmosphäre besteht, nennt man die Luft.

Die Hauptbestandtheile der atmosphärischen Luft sind Sauerstoffgas und Stickgas, deren Gemisch noch verhältnißmäßig geringe Quantitäten von Kohlensäure und Wasserdampf beigemengt sind. In 100 Raumtheilen Luft sind 79 Raumtheile Stickgas und 21 Raumtheile Sauerstoffgas enthalten. Dieses Verhältniß ist fast ganz constant. Der Gehalt an Kohlensäure ist an und für sich sehr gering, unterliegt aber verhältnißmäßig größeren Schwankungen als Sauerstoff und Stickstoff, indem 10 000 Raumtheile Luft zwischen 3,3 und 5,3 Raumtheile Kohlensäure enthalten. Noch veränderlicher ist der Gehalt an Wasserdampf, wovon im folgenden Capitel ausführlicher gehandelt werden soll.

Die Luft ist, wie wir früher schon gesehen haben, der Schwere eben so unterworfen, wie die festen und tropfbar-flüssigen Körper. Die Lufttheilchen werden also von der Masse des Erdkörpers angezogen und dadurch auch verhindert, sich von der Erde aus in den Weltraum zu zerstreuen. Durch ihre Schwere wird die Atmosphäre zu einem integrirenden Theile der Erde, sie nimmt Theil sowohl an ihrer jährlichen wie an ihrer täglichen Bewegung.

Weil die Luft expansibel ist und das Volumen, welches eine gegebene Luftmenge einnimmt, von dem Drucke abhängt, welchem sie ausgesetzt ist, so ist klar, daß die Atmosphäre nicht überall gleiche Dichtigkeit haben kann, daß dieselbe vielmehr von unten nach oben fortwährend abnehmen muß.

Daß die tieferen Luftschichten wirklich einen stärkeren Druck auszuhalten haben, das beweisen uns die in verschiedenen Höhen angestellten Barometerbeobachtungen. Am Meeresufer ist die Höhe der Barometersäule im Mittel 760 Millimeter; sobald man sich aber über den Meeresspiegel erhebt, sinkt das Barometer um so mehr, je höher man steigt; zu Potosi, in einer Höhe von 13220 Fuß, ist der mittlere Barometerstand nur noch 471 Millimeter (17,4

Digitized by Google

Zoll; in jener Höhe ist also der Luftdruck nur noch 0,62 von demjenigen, welcher am Ufer des Meeres stattfindet.

In Fig. 548 auf Seite 532 ist durch eine punktirte Linie die Höhe angedeutet, in welcher der Luftdruck nur noch halb so groß ist als am Spiegel des Meeres. Diese Linie streift den Gipfel des Kaukasus.

Da mit der Erhebung über den Meeresspiegel der Luftdruck abnimmt und das Barometer sinkt, so kann das Barometer dienen, um Höhenmessungen auszuführen. Näheres über diesen Gegenstand in §. 19, S. 41 des Supplementbandes.

Mit Hülfe der für barometrische Höhenmessungen construirten Formeln kann man berechnen, wie groß der Luftdruck einer jeden beliebigen Höhe über dem Meere ist; für eine Höhe von 160,000 Fuß oder 8 geographische Meilen ergiebt sich auf diese Weise ein Luftdruck, welcher so gering ist, daß er nur noch einer Quecksilbersäule von 1^{mm} das Gleichgewicht halten kann; in jener Höhe ist also die Dichtigkeit der Luft nur noch $^1/_{760}$ von der auf der Oberfläche des Meeres beobachteten. In einer Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen ist demnach die Luft schon so verdünnt, daß ihr Druck selbst für die empfindlichsten physikalischen Instrumente kaum bemerkbar ist. Was von Luft über die Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen hinausgeht, ist jedenfalls ein verschwindend kleiner Bruchtheil der übrigen Atmosphäre, und deshalb nimmt man in der Regel an, daß die Atmosphäre eine Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen habe.

Eben weil die Luft expansibel ist, kann sie nicht eine scharfe obere Gränze haben wie die Gewässer, welche die Erdoberfläche bedecken. Es findet eben in den höheren Luftregionen ein allmäliger Uebergang zur unendlichen Verdünnung Statt, und deshalb ist auch die Höhe der Atmosphäre keine absolut gegebene und präcis bestimmbare; man kann höchstens sagen, in welcher Höhe die Dichtigkeit der Luft unmerklich wird.

Nehmen wir in diesem Sinne die Höhe der Atmosphäre zu 10 bis 12 geographischen Meilen an, so sehen wir, daß diese Höhe sehr gering ist im Vergleich zum Durchmesser der Erde, welcher nahe 17000 geographische Meilen beträgt. Um sich ein klares Bild von dem Verhältnisse der Erdkugel zu ihrer Atmosphäre zu machen, denke man sich eine Kugel von 1 Fuß Durchmesser, welche von einer nicht ganz 1 Linie dicken luftigen Hülle umgeben ist.

Aber weit unter der angegebenen Gränze verschwindet die letzte Spur des organischen Lebens, welches weder eine solche Luftverdünnung, noch eine so niedrige Temperatur ertragen kann, wie sie in jenen Höhen herrscht, und welches schwerlich bis auf die Gipfel der höchsten Berge hinaufsteigt.

291 **Variationen des Barometerstandes.** Wir haben schon oben gesehen, daß der Luftdruck durch das Barometer gemessen wird. Nun aber beobachtet man beständige Schwankungen an diesem Instrumente, was eine beständige Ab- und Zunahme des Luftdruckes andeutet.

Die Variationen des Barometers sind entweder periodische oder zufällige. Die periodischen Schwankungen treten in den Tropen sehr entschieden auf;

Digitized by Google

das Barometer fällt von 10 Uhr Morgens bis 4 Uhr Nachmittags, steigt dann bis 11 Uhr Nachts, fällt wieder bis 4 Uhr Morgens und steigt abermals bis 10 Uhr Morgens. Der Barometerstand zeigt also zwei tägliche Maxima um 10 Uhr Morgens und um 11 Uhr Nachts, und zwei Minima um 4 Uhr Morgens und um 4 Uhr Abends.

Die Größe dieser täglichen Schwankungen beträgt ungefähr 2 Millimeter.

Auch eine jährliche Periode der Barometerschwankungen zeigt sich in den Tropen ganz entschieden. Das Barometer sinkt nördlich vom Aequator vom Januar bis zum Juli und steigt dann wieder vom Juli bis zum Januar. Im Juli ist der mittlere Barometerstand 2 bis 4 Millimeter niedriger als im Januar.

In höheren Breiten sind die zufälligen Schwankungen des Barometers so bedeutend, daß durch sie die hier sehr geringen periodischen Schwankungen ganz maskirt werden. Um entscheiden zu können, ob mitten in den beständig stattfindenden zufälligen Schwankungen des Barometers sich nicht auch ein periodisches Steigen und Fallen geltend mache, muß man die Mittelzahlen einer großen Reihe von Barometerbeobachtungen mit einander vergleichen, welche regelmäßig zu bestimmten Stunden des Tages angestellt worden sind. Wenn man einen Monat lang das Barometer an mehreren bestimmten Stunden des Tages beobachtet und das Mittel aus allen zu derselben Stunde gemachten Beobachtungen nimmt, so reicht dies hin, um die Existenz einer täglichen Periode der Barometerschwankungen auch für unsere Gegenden zu beweisen.

Solche Beobachtungen haben nun gezeigt, daß allerdings auch bei uns periodische Schwankungen stattfinden. Um 9 Uhr Morgens steht in unseren Gegenden das Barometer im Durchschnitt um 0,7 Millimeter höher als um 2 Uhr Nachmittags; auch ist der mittlere Barometerstand des Sommers etwas niedriger als der des Winters.

Ursachen der Barometerschwankungen. Die Ursache aller 292
Barometerschwankungen ist in der ungleichen und stets sich ändernden Wärmevertheilung auf der Erde zu suchen. Da sich die Wärmevertheilung auf der Erde beständig ändert, so wird auch das Gleichgewicht in jedem Augenblicke gestört, es entstehen Luftströmungen, welche das gestörte Gleichgewicht wieder herzustellen streben, und so ist denn die Luft in beständiger Bewegung, bald mehr erwärmt und deshalb leichter, bald wieder erkaltet und deshalb dichter; bald mehr, bald weniger Wasserdampf enthaltend, wird auch der Druck der Luftsäule fortwährenden Veränderungen unterworfen sein, welche uns das Barometer anzeigt.

Daß wirklich Temperaturveränderungen die Ursache der Barometerschwankungen sind, geht schon daraus hervor, daß sie in den Tropen, wo die Temperatur so wenig veränderlich ist, auch am unbedeutendsten sind, in höheren Breiten dagegen, wo die Variationen der Temperatur immer bedeutender werden, da ist auch die Amplitude der zufälligen Barometerschwankungen sehr groß, ja selbst im Sommer, wo die Temperatur im Allgemeinen weniger veränderlich ist, sind die Oscillationen des Barometers kleiner als im Winter.

Digitized by Google

Obgleich man im Allgemeinen nachweisen kann, daß die ungleiche und stets sich ändernde Erwärmung der Luft beständige Veränderungen in der Größe des Luftdrucks zur Folge haben muß, so sind wir doch noch weit davon entfernt, alle concreten Fälle stets genügend ableiten zu können.

Wenn an irgend einem Orte die Luft bedeutend erwärmt wird, so dehnt sie sich aus, die Luftsäule erhebt sich über die Luftmasse, welche auf den kälteren Umgebungen ruht, die in die Höhe gestiegene Luft wird also oben nach den Seiten hin abfließen, der Druck der Luft muß also an dem wärmeren Orte abnehmen, das Barometer wird daselbst sinken müssen; in den kälteren Umgebungen aber muß das Barometer steigen, weil sich die in den oberen Regionen der erwärmten Gegenden seitwärts abfließende Luft über die Atmosphäre der kälteren Gegenden verbreitet.

Dadurch erklärt sich auch, warum in unseren Gegenden im Durchschnitte bei Südwestwinden das Barometer am tiefsten, bei Nordostwinden am höchsten steht: die Südwestwinde bringen uns warme Luft, während uns die Nordostwinde kältere Luft zuführen; da, wo ein warmer Luftstrom weht, müßte die Atmosphäre eine größere Höhe haben als da, wo der kalte Wind weht, wenn der Druck der ganzen Luftsäule an beiden Orten derselbe sein sollte; wäre dies aber auch wirklich der Fall, so würde die Luft des warmen Stromes oben abfließen, das Barometer also unter dem warmen Luftstrome sinken, unter dem kalten dagegen steigen.

In Europa sind im Durchschnitt die Südwestwinde auch die Regenwinde, weil sie, von wärmeren Meeren kommend, mit Wasserdampf gesättigt sind, welcher sich nach und nach verdichtet und als Regen niederfällt, wenn der Wind zu immer kälteren Gegenden gelangt. In dieser Condensation des Wasserdampfes ist ein zweiter Grund zu suchen, warum das Barometer bei Südwestwinden niedrig steht. So lange nämlich der Wasserdampf als förmliches Gas einen Bestandtheil der Atmosphäre ausmacht, ist ihm ein Theil des atmosphärischen Druckes zuzuschreiben, ein Theil der Quecksilbersäule im Barometer wird durch den Wasserdampf getragen; das Barometer muß also sinken, wenn der Wasserdampf aus der Atmosphäre durch Verdichtung ausgeschieden wird.

Da die Südwestwinde, welche in unseren Gegenden ein Sinken des Barometers bewirken, uns auch eine feuchte Luft zuführen und regnerisches Wetter bringen, während das Barometer steigt, wenn Nordostwinde wehen, welche die Luft trocken und den Himmel heiter machen, so kann man allerdings sagen, daß im Allgemeinen ein hoher Barometerstand schönes Wetter, ein tiefer aber schlechtes Wetter anzeigt. Dies ist aber, wie gesagt, nur eine Durchschnittsregel, denn bei Nordostwind ist der Himmel auch öfters bewölkt, bei Südwestwind auch manchmal heiter; sie ist jedoch in derselben Ausdehnung wahr wie die, daß bei Nordostwind das Barometer hoch, bei Südwestwind dagegen tief steht; dies ist auch nicht immer, sondern nur im Durchschnitt wahr. Wir können uns von solchen Anomalien nicht immer genügende Rechenschaft geben, weil uns die mannigfachen Elemente nicht genügend bekannt sind, welche den Gleichgewichtszustand der Atmosphäre bedingen.

Digitized by Google

Daß ein hoher Barometerstand im Allgemeinen heiteres Wetter, ein tiefer aber trübes Wetter anzeigt, ist auch nur für solche Orte wahr, an welchen die warmen Winde zugleich die Regen bringenden sind. An dem Ausflusse des La-Plata-Stromes z. B. sind die kalten Südostwinde, welche vom Meere her wehen und das Barometer steigen machen, die Regenwinde, die warmen Nordwestwinde aber, bei welchen das Barometer sinkt, sind trockne Landwinde und bringen heiteres Wetter. Dem Umstande, daß hier der Regen durch kalte Winde gebracht wird, ist die geringere Regenmenge dieser Gegenden zuzuschreiben, während unter gleicher Breite an den Westküsten von Südamerika sehr viel Regen fällt, indem hier der warme Nordwestwind zugleich ein Seewind ist.

Entstehung der Winde. Wie bei dem auf Seite 451 beschriebenen 293
Versuch im Kleinen die ungleiche Erwärmung der beiden Räume Luftströmungen veranlaßt, so ist auch die ungleiche stets wechselnde Erwärmung der Erdoberfläche und des über ihr schwebenden Luftmeeres die Ursache der Luftströmungen, die wir Winde nennen. Auch im Großen sieht man die Luft in den stärker erwärmten Gegenden aufsteigen und in der Höhe nach den kälteren abfließen, während unten die Luft von den kälteren Gegenden den wärmeren zuströmt.

Ein einfaches Beispiel geben uns die Land- und Seewinde, welche man häufig an den Meeresküsten, namentlich aber auf den Inseln wahrnimmt. Einige Stunden nach Sonnenaufgang erhebt sich ein von dem Meere nach der Küste gerichteter Wind, der Seewind, weil das feste Land unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen stärker erwärmt wird als das Meer; über dem Lande steigt die Luft in die Höhe und fließt oben nach dem Meere hin ab, während unten die Luft vom Meere gegen die Küsten strömt. Dieser Seewind ist anfangs schwach und nur an den Küsten selbst fühlbar, später nimmt er zu und zeigt sich dann auch auf dem Meere schon in größerer Entfernung von der Küste; zwischen 2 und 3 Uhr Nachmittags wird er am stärksten, nimmt dann wieder ab, und gegen Untergang der Sonne tritt eine Windstille ein. Nun erkalten Land und Meer durch die Wärmestrahlung gegen den Himmelsraum, das Land erkaltet aber rascher als das Meer, und nun strömt die Luft in den unteren Regionen vom Lande nach dem Meere, während in den oberen Luftregionen eine entgegengesetzte Strömung stattfindet.

Zu den Ursachen, welche Luftströmungen, ja die heftigsten Stürme erzeugen können, ist auch eine schnelle Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes zu zählen. Wenn man bedenkt, welch eine ungeheure Wassermasse während eines Platzregens in wenigen Minuten zur Erde fällt, welch ungeheures Volumen dieses Wasser eingenommen haben muß, als es noch in Dampfgestalt in der Atmosphäre schwebte, so ist klar, daß durch die rasche Condensation dieser Wasserdämpfe eine bedeutende Luftverdünnung bewirkt wird und daß die Luft von allen Seiten her mit Gewalt in den verdünnten Raum eindringen muß, um so mehr, als da, wo die Condensation der Wasserdämpfe stattfindet, die Temperatur der Luft durch die frei werdende Wärme erhöht und dadurch ein kräftig aufsteigender Luftstrom erzeugt wird.

Digitized by Google

Oft sieht man die Wolken in anderer Richtung ziehen, als die ist, welche die Windfahnen zeigen, und oft ziehen die höheren Wolken in anderer Richtung als die tiefer schwebenden, woraus hervorgeht, daß in verschiedenen Höhen Luftströmungen nach verschiedener Richtung stattfinden.

294 **Passatwinde und Moussons.** Als Columbus auf seiner Entdeckungsreise nach Amerika seine Schiffe durch einen beständigen Ostwind fortgetrieben sah, wurden seine Gefährten mit Schrecken erfüllt, weil sie fürchteten, nimmer nach Europa zurückkehren zu können. Dieser in den Tropen beständig von Osten nach Westen wehende Wind, welcher so sehr das Erstaunen der ersten Seefahrer des 15. Jahrhunderts erregte, ist der Passatwind. Die Schiffer benutzen diesen Wind, um von Europa nach Amerika zu segeln, indem sie von Madeira aus südlich bis in die Nähe des Wendekreises steuern, wo sie dann durch den Passat nach Westen getrieben werden. Diese Reise ist so sicher und die Arbeit der Matrosen dabei so gering, daß die spanischen Seeleute diesen Theil des atlantischen Oceans den Frauengolf (el golfo de las Damas) nannten. Auch in der Südsee weht dieser Wind; die spanischen Schiffer ließen sich durch ihn in gerader Linie von Acapulco nach Manilla treiben.

Im atlantischen Ocean erstreckt sich der Passatwind bis zum 29., im großen Ocean nur bis zum 25. Grade nördlicher Breite. In der nördlichen Hälfte der heißen Zone ist die Richtung des Passatwindes eine nordöstliche; je mehr er sich aber dem Aequator nähert, desto mehr wird seine Richtung rein östlich. Die Gränze des Passats ist in der südlichen Halbkugel weniger genau bestimmt, dort aber hat der Passat eine südöstliche Richtung, die mehr und mehr östlich wird, je weiter er gegen den Aequator vordringt.

Diese Winde wehen rund um die ganze Erde, doch sind sie in der Regel erst 50 Meilen weit vom festen Lande entschieden merklich.

Da, wo der Nordostpassat der nördlichen und der Südostpassat der südlichen Hemisphäre zusammentreffen, combiniren sie sich zu einem rein östlichen Winde, der aber unmerklich wird, weil die horizontale Bewegung der durch die Intensität der Sonnenstrahlen stark erwärmten und deshalb mächtig aufsteigenden Luft eben durch diese verticale Bewegung neutralisirt wird. Es würde in diesen Gegenden eine fast vollkommene Windstille herrschen, wenn nicht die heftigen Stürme, welche die fast täglich unter Donner und Blitz stattfindenden Regengüsse begleiten, die Ruhe der Atmosphäre störten und das Wehen sanfter regelmäßiger Winde unmöglich machten.

Diese Zone, welche die Passatwinde der beiden Hemisphären trennt, ist die Region der Calmen.

Das Kärtchen Fig. 549 dient dazu, die Gegenden zu zeigen, in welchen die Passatwinde herrschen. Die Mitte der Region der Calmen, welche im Durchschnitt eine Breite von 6° hat, fällt nicht, wie man wohl erwarten sollte, mit dem Aequator zusammen, sondern sie liegt nördlich von demselben. Während unserer Sommermonate ist der Gürtel der Calmen breiter, und seine nördliche

Digitized by Google

Gränze entfernt ſich mehr vom Aequator, während die ſüdliche Gränze ſich nur wenig ändert.

Fig. 549.

Die Urſache davon, daß die Region der Calmen auf der nördlichen Hemiſphäre liegt, iſt wohl in der Configuration der Continente zu ſuchen.

Die Paſſatwinde laſſen ſich leicht erklären. Die Luft, welche in den Aequatorialgegenden ſtark erwärmt in die Höhe ſteigt, erhebt ſich über die kälteren Luftmaſſen zu beiden Seiten und ſtrömt oben nach den Polen hin ab, während unten die Luft von den Polen her dem Aequator zufließt. Wenn die Erde keine Axendrehung hätte, ſo würde der Paſſatwind auf der nördlichen Halbkugel gerade von Norden nach Süden, auf der ſüdlichen Hemiſphäre aber in entgegengeſetzter Richtung wehen. Nun aber dreht ſich die Erde von Weſten nach Oſten, und das Luftmeer, welches ſie umgiebt, theilt die Rotationsbewegung.

Je näher ein Ort der Erdoberfläche den Polen liegt, deſto langſamer wird er ſich in dem während 24 Stunden zu beſchreibenden Kreiſe fortbewegen, weil dieſer Kreis um ſo kleiner iſt, je weiter man ſich vom Aequator entfernt. Demnach iſt auch die Rotationsgeſchwindigkeit der über der Erde ruhenden Luftmaſſe in der Nähe der Pole geringer als am Aequator; wenn nun eine Luftmaſſe aus höheren Breiten dem Aequator zugeführt wird, ſo langt ſie mit geringerer Rotationsgeſchwindigkeit über Länder an, welche ſich ſchneller von Weſten nach Oſten bewegen; in Beziehung auf dieſen unter ihr ſich fortbewegenden Boden hat ſie alſo eine Bewegung von Oſten nach Weſten. Dieſe Bewegung combinirt ſich mit der gegen den Aequator hin fortſchreitenden Bewegung auf der nördlichen Halbkugel zu einem Nord-, auf der ſüdlichen aber zu einem Südoſtwinde.

Die in den Aequatorialgegenden aufſteigende Luft fließt in der Höhe nach beiden Seiten hin ab, um ſich nach den Polen hin zu ergießen. Die Richtung dieſes oberen Paſſats iſt natürlich der des unteren gerade entgegengeſetzt, ſie iſt in der nördlichen Halbkugel eine ſüdweſtliche, in der ſüdlichen Halbkugel eine nordweſtliche.

Daß in den oberen Luftregionen wirklich ein Paſſat weht, welcher dem unteren entgegengeſetzt iſt, läßt ſich durch Thatſachen beweiſen; ſo wurde z. B. am 25. Februar 1835 bei einem Ausbruche des Vulcans von Coſiguina im Staate Guatemala die Aſche bis in die Höhe des oberen Paſſats geſchleudert,

Digitized by Google

der sie in südwestlicher Richtung fortführte, so daß sie auf der Insel Jamaica niederfiel, obgleich in den unteren Regionen der Nordostpassat herrschte.

In größerer Entfernung vom Aequator senkt sich der obere Passat mehr und mehr gegen die Erdoberfläche. Auf dem Gipfel des Piks von Teneriffa herrschen fast immer Westwinde, während am Meeresspiegel der untere Passat weht.

Im indischen Ocean ist die Regelmäßigkeit der Passatwinde durch die Configuration der Ländermassen, welche dieses Meer umgeben, namentlich aber durch den asiatischen Continent, gestört. Im südlichen Theile des indischen Oceans, zwischen Neuholland und Madagaskar, herrscht noch das ganze Jahr hindurch der Südostpassat, in dem nördlichen Theile dieses Meeres aber weht während der einen Hälfte des Jahres ein beständiger Südwest-, während der anderen Hälfte des Jahres ein beständiger Nordostwind. Diese regelmäßig abwechselnden Winde werden Moussons genannt.

Der Südwestwind weht vom April bis zum October, während der übrigen Monate des Jahres weht der Nordostwind.

Während in den Wintermonaten der asiatische Continent erkaltet, die Sonne aber in den südlicheren Gegenden eine größere Wärme erzeugt, muß natürlich ein Nordostpassat von dem kälteren Asien nach den heißeren Gegenden wehen. In dieser Zeit ist auch im indischen Ocean der Nordostpassat von dem Südostpassat durch die Region der Calmen getrennt.

Während des Sommers wird das Wehen des Südostpassates zwischen Neuholland und Madagaskar nicht gestört, in den nördlichen Theilen des indischen Oceans aber, in welchen im Winter ein Nordostwind geherrscht hatte, wird dieser in einen Südwestwind verwandelt, weil sich nun der asiatische Continent sehr stark erwärmt und also eine Luftströmung nach Norden hin veranlaßt, welche durch die Rotation der Erde in einen Südwestwind verwandelt wird.

295 **Winde in höheren Breiten.** Der obere Passat, welcher die Luft von den Aequatorialgegenden zurückführt, senkt sich, wie schon erwähnt wurde, immer mehr und erreicht endlich als Südwestwind den Boden; außerhalb der Region der Passatwinde gehen daher die beiden Luftströmungen, welche die Luft von den Polen zum Aequator und vom Aequator zurück nach den Polen führen, nicht mehr über einander, sondern neben einander her, sie streben einander gegenseitig zu verdrängen; bald erlangt der Südwest, bald der Nordost die Oberhand, und bei dem Uebergange aus einer dieser Windrichtungen in eine andere sehen wir die Zwischenwinde nach allen Richtungen der Windrose wehen.

Obgleich auch in höheren Breiten Südwest und Nordost die herrschenden Winde sind, so findet zwischen ihnen doch keine so regelmäßige periodische Abwechselung Statt wie bei den Moussons im indischen Oceane.

Die folgende Tabelle giebt die Häufigkeit der Winde in verschiedenen Ländern an; sie giebt nämlich an, wie oft im Durchschnitt unter je 1000 Tagen ein jeder der acht Hauptwinde weht.

Digitized by Google

Länder.	N.	N.O.	O.	S.O.	S.	S.W.	W.	N.W.
England	82	111	99	81	111	225	171	120
Frankreich	126	140	84	76	117	192	155	110
Deutschland . . .	84	98	119	87	97	185	198	131
Dänemark	65	98	100	129	92	198	161	156
Schweden	102	104	80	110	128	210	159	106
Rußland	99	191	81	130	98	143	166	192
Nordamerika . . .	96	116	49	108	123	197	101	210

Gesetz der Winddrehung. Obgleich bei einer oberflächlichen Be- 296
trachtung in unseren Gegenden die Aenderungen in der Windrichtung ganz regellos zu sein scheinen, so haben doch aufmerksamere Beobachter schon lange die Bemerkung gemacht, daß die Winde in der Regel in folgender Ordnung auf einander folgen:

S, SW, W, NW, N, NO, O, SO, S.

Am regelmäßigsten läßt sich diese Drehung des Windes während des Winters beobachten; die mit diesem Umschlagen zusammenhängenden Veränderungen des Barometers und des Thermometers hat Dove sehr schön mit folgenden Worten beschildert:

„Wenn der Südwest, immer heftiger wehend, endlich vollkommen durchgedrungen ist, erhöht er die Temperatur über den Gefrierpunkt, es kann daher nicht mehr schneien, sondern es regnet, während das Barometer seinen niedrigsten Stand erreicht. Nun dreht sich der Wind nach West, und der dichte Flockenschnee beweist ebenso gut den einfallenden kälteren Wind als das rasch steigende Barometer, die Windfahne und das Thermometer. Mit Nord heitert der Himmel sich auf, mit Nordost tritt das Maximum der Kälte und des Barometers ein. Aber allmälig beginnt dieses zu fallen, und feine Cirri zeigen durch die Richtung ihres Entstehens den oben eingetretenen südlicheren Wind, den das Barometer schon bemerkt, wenn auch die Windfahne nichts davon weiß und noch ruhig Ost zeigt. Doch immer bestimmter verdrängt der südliche Wind den Ost von oben herab, bei entschiedenem Fallen des Quecksilbers wird die Windfahne *SO*, der Himmel bezieht sich allmälig immer mehr, und mit steigender Wärme verwandelt sich der bei *SO* und *S* fallende Schnee bei *SW* wieder in Regen. Nun geht es von Neuem an, und höchst charakteristisch ist der Niederschlag auf der Ostseite von dem auf der Westseite gewöhnlich durch eine kurze Aufhellung getrennt."

Nicht immer läßt sich die Drehung des Windes so rein beobachten, wie es eben angeführt wurde, indem häufig ein Zurückspringen des Windes stattfindet; ein solches Zurückspringen wird aber weit häufiger auf der Westseite der Windrose beobachtet als auf der Ostseite. Eine vollständige Umdrehung des Windes

Digitized by Google

in entgegengesetzter Richtung, nämlich von *S* nach *O*, *N*, *W*, wird in Europa höchst selten beobachtet.

Die Erklärung dieses Gesetzes ergiebt sich durch die Verallgemeinerung der Erklärung der Passatwinde.

Wird die Luft durch irgend eine Ursache von den Polen nach dem Aequator getrieben, so kommt sie von Orten, deren Rotationsgeschwindigkeit geringer ist, an andere Orte, welche eine größere Rotationsgeschwindigkeit besitzen; ihre Bewegung erhält dadurch eine östliche Richtung, wie wir schon beim Passatwinde gesehen haben. Auf der nördlichen Halbkugel gehen deshalb die Winde, welche als Nordwinde entstehen, bei ihrem allmäligen Fortrücken durch *NO* in *O* über. Ist auf diese Weise ein Ostwind entstanden, so wird dieser, wenn die Ursache fortdauert, welche die Luft nach dem Aequator hintreibt, hemmend auf den Polarstrom wirken, die Luft wird die Rotationsgeschwindigkeit des Ortes annehmen, über welchem sie sich befindet, und wenn nun die Tendenz, nach dem Aequator zu strömen, immer noch fortdauert, so springt der Wind nach Norden zurück, und dieselbe Reihe von Erscheinungen wiederholt sich.

Wenn aber, nachdem die Polarströme eine Zeitlang geherrscht haben und die Windrichtung östlich geworden ist, Aequatorialströme eintreten, so wird der Ostwind durch Südost nach Süd umschlagen. Wenn die Luft von Süden nach Norden fortströmt, so gelangt sie mit der größeren Rotationsgeschwindigkeit derjenigen Parallelkreise, welche dem Aequator näher liegen, an Orte, welche eine geringere Rotationsgeschwindigkeit haben; sie wird also der von Westen nach Osten rotirenden Erdoberfläche mit noch größerer Rotationsgeschwindigkeit gleichsam voraneilen, die südliche Windrichtung wird allmälig südwestlich und dann ganz westlich werden müssen. Bei fortdauernder Tendenz der Luft, nach dem Pole zu strömen, wird der Wind alsbald wieder nach Süd zurückspringen, gerade so, wie der Ost nach Norden zurückspringt; wenn aber die Aequatorialströmung durch eine Polarströmung verdrängt wird, so schlägt der Westwind durch Nordwest nach Norden um.

Auf der südlichen Halbkugel muß der Wind in entgegengesetzter Richtung umschlagen.

Wo in den Tropen die Passatwinde wehen, giebt es an der Erdoberfläche selbst gar keine vollständige Drehung, die Richtung des Passates wird nur bei seinem Vordringen immer mehr östlich.

In der Region der Moussons findet im Laufe eines ganzen Jahres nur eine einzige Drehung Statt. Man sieht also, daß die Windverhältnisse der Tropen der einfachste Fall des Drehungsgesetzes sind.

297 **Stürme.** Die Stürme sind Folgen einer bedeutenden Störung im Gleichgewichte der Atmosphäre, und höchst wahrscheinlich rührt diese Störung von einer raschen Condensation der Wasserdämpfe her, wie dies schon oben angedeutet wurde.

Neuere Untersuchungen haben gezeigt, daß die Stürme meistens als große fortschreitende Wirbel zu betrachten sind.

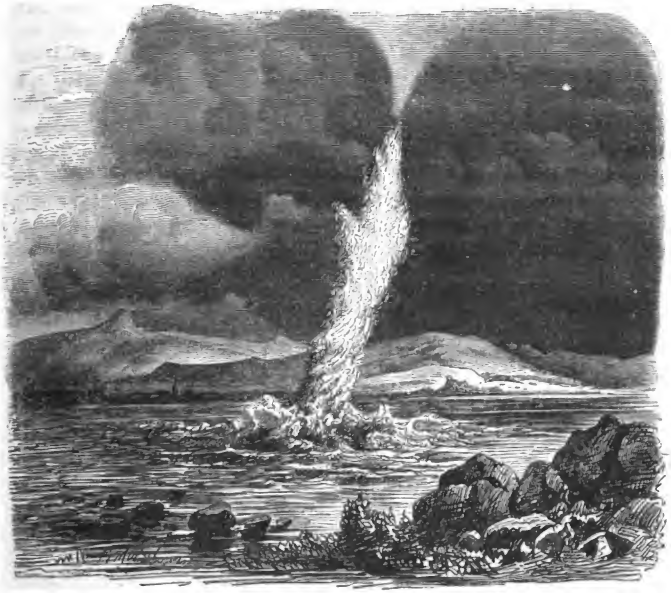
In den Tropen wüthen die Stürme ungleich heftiger als in höheren Brei-

Digitized by Google

ten; die Zerstörungen der Orkane, welche man in Amerika mit dem Namen der Tornados bezeichnet, sind wahrhaft fürchterlich. So wurden z. B. durch den Sturm, welcher am 26. Juli 1825 Guadalope verwüstete, solid gebaute Häuser umgerissen; Kanonen wurden bis zur Brüstung der Batterie, auf welcher sie standen, fortgeschleudert, ein Brett von ungefähr 3 Fuß Länge, 8 Zoll Breite und 10 Linien Dicke wurde mit solcher Geschwindigkeit durch die Luft gejagt, daß es den Stamm eines Palmbaumes, welcher ungefähr 17 Zoll im Durchmesser hatte, durch und durch bohrte.

Oft sieht man bei ruhigem Wetter, wie Sand und Staub durch den Wind in wirbelnder Bewegung fortgeführt werden. Bei herannahenden Gewittern sieht man schon größere Luftwirbel der Art, welche Staub, Blätter, Stroh u. s. w. mit in die Höhe nehmen. Die Tromben sind nichts Anderes als solche Wirbel in größerem Maßstabe; sie werden in der Regel durch den Kampf zweier in den oberen Luftregionen in entgegengesetzter Richtung wehender Winde erzeugt. Sie bilden gewöhnlich einen Doppelkegel; der obere Theil desselben, dessen Spitze herabgesenkt ist, besteht aus einer Wolkenmasse, während der untere

Fig. 550.



Digitized by Google

Kegel, dessen Spitze nach oben gerichtet ist, aus Wasser besteht, wenn das Meteor auf dem Meere oder über Seen und Flüssen sich bildet, oder aus Sand und sonstigen festen Körpern, wenn die Trombe über das Land herzieht. Tromben sind im Stande, Bäume zu entwurzeln, Häuser abzudecken, Balken mehrere hundert Schritte weit fortzuschleudern u. s. w. Die Wassertromben sind unter dem Namen der Wasserhosen bekannt. Fig. 550 (a. v. S) stellt eine im Jahre 1858 in der Nähe von Königswinter beobachtete Wasserhose dar.

Digitized by Google

Drittes Capitel.

Von der atmosphärischen Feuchtigkeit.

Verbreitung des Wasserdampfes in der Luft. Wenn man 298
an einem heißen Sommertage eine mit Wasser gefüllte Schale ins Freie stellt, so sieht man die Quantität des Wassers rasch abnehmen, es verdunstet, das heißt es geht in Dampfgestalt über und verbreitet sich in der Luft. Der Wasserdampf ist wie jedes andere farblose durchsichtige Gas für unsere Blicke unsichtbar, das Wasser scheint, indem es verdunstet, gänzlich verschwunden zu sein.

Das in der Luft verbreitete Wasser wird erst wieder sichtbar, wenn es, in seinen flüssigen Zustand zurückkehrend, Nebel oder Wolken, Thau oder Reif bildet. Wenn man sich von der Existenz des Wasserdampfes in der Luft überzeugen will, muß man ihn auf irgend eine Weise verdichten.

Ganz unmittelbar erhält man die Menge des in einem bestimmten Volumen Luft enthaltenen Wasserdampfes, wenn man die Luft durch ein mit hygroskopischen Substanzen gefülltes Rohr saugt. Um ein regelmäßiges Durchstreichen der Luft durch das Absorptionsrohr zu bewirken, wendet man einen Aspirator an. Es ist dies im Wesentlichen ein bis auf zwei Oeffnungen verschlossenes mit Wasser gefülltes Gefäß; aus der einen Oeffnung fließt durch ein Rohr beständig Wasser ab, die andere Oeffnung ist mit dem Absorptionsrohre in Verbindung, so daß hier eine dem ausfließenden Wasser gleiche Menge getrockneter Luft eintritt. Wie viel Wasserdampf in der durch das Absorptionsrohr gesaugten Luftmenge enthalten war, ergiebt sich, wenn man dies Rohr vor und nach dem Versuche wägt.

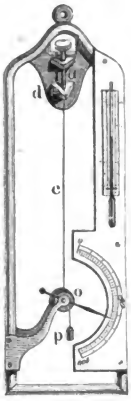
Diese Bestimmungsweise des Wassergehaltes der Luft mit dem Aspirator, dem man verschiedene, bald mehr, bald weniger zweckmäßige Formen gegeben hat, ist allerdings etwas umständlich und giebt auch nicht den Wassergehalt der Luft in einem bestimmten Momente, sondern den mittleren Wassergehalt während der ganzen Dauer des Versuches; man hat deshalb kleinere, leichter transportable Apparate construirt, welche unter dem Namen der Hygrometer bekannt sind.

Es ist bekannt, daß viele organische Körper die Eigenschaft haben, Wasserdampf zu absorbiren und sich dabei verhältnißmäßig zu verlängern. Unter anderen sind auch Haare, Fischbein u. s. w. solche hygroskopische Körper, und man

Digitized by Google

benutzte sie deshalb zur Construction von Hygrometern. Das beste Instrument der Art ist das von Saussure angegebene Haarhygrometer, welches Fig. 551 abgebildet ist.

Fig. 551.



Das Haar ist mit seinem oberen Ende an einem Zängelchen *d* befestigt, das andere Ende aber ist um eine mit zwei Rinnen versehene Rolle geschlungen, während in der anderen Rinne um die Rolle ein Seidenfaden geschlungen ist, an welchem ein kleines Gewicht *p* hängt, durch welches das Haar beständig gespannt erhalten wird. An der Axe der Rolle ist ein Zeiger befestigt, welcher an einem Gradbogen hin- und hergeht, wenn die Rolle durch die Verlängerung oder Verkürzung des Haares gedreht wird.

Wenn sich das Instrument in feuchter Luft befindet, so absorbirt das Haar viel Wasserdampf und wird dadurch länger, in trockener Luft aber verkürzt es sich, wodurch natürlich der Zeiger bald nach der einen, bald nach der anderen Seite gedreht wird.

Die Graduirung des Instrumentes wird auf folgende Weise bewerkstelligt. Zuerst bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren innerer Raum durch Chlorcalcium oder durch Schwefelsäure ausgetrocknet wird. Die Stelle der Scala, auf welcher sich der Zeiger unter diesen Verhältnissen feststellt, ist der Punkt der größten Trockenheit, er wird mit 0 bezeichnet.

Nun bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren Wände mit Wasser befeuchtet sind, während auch auf dem Boden, auf welchem die Glocke steht, Wasser ausgebreitet ist. Der Raum unter der Glocke sättigt sich bald mit Wasserdampf, und der Zeiger geht nach dem anderen Ende der Scala hin. Der Punkt, wo er sich jetzt feststellt, ist der Punkt der größten Feuchtigkeit, er wird mit 100 bezeichnet.

Der Zwischenraum zwischen diesen beiden Punkten wird in 100 gleiche Theile getheilt, welche man Feuchtigkeitsgrade nennt.

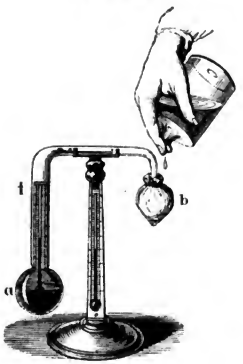
Die Beziehungen zwischen diesen Graden auf den Wassergehalt der Luft müssen an jedem Instrumente durch Versuche ermittelt werden, die wir nicht näher betrachten können.

299 **Daniell's Hygrometer** ist Fig. 552 dargestellt; es besteht aus einer gekrümmten Röhre, welche mit zwei Kugeln endigt; die eine, *a*, ist entweder vergoldet oder mit einer ganz dünnen glänzenden Platinschicht überzogen, die andere ist mit einem Läppchen feiner Leinwand umwickelt. Die Kugel *a* ist zur Hälfte mit Aether gefüllt und enthält ein kleines Thermometer, dessen Theilung in die Röhre *t* hineinragt. Der Apparat ist vollkommen luftleer. Wenn man nun Aether auf die Kugel *b* tröpfelt, so wird sie durch die Verdampfung des Aethers erkaltet, im Innern derselben werden Aetherdämpfe condensirt und

Digitized by Google

dadurch eine Verdampfung des Aethers in der Kugel *a* bewirkt, indem gewissermaßen der Aether aus der wärmeren Kugel *a* in die kältere *b* überdestillirt.

Fig. 552.



Bei der Dampfbildung in der Kugel *a* wird aber ebenfalls Wärme gebunden, und sie beschlägt sich endlich mit einem zarten Thau.

Die Entstehung dieses Thaues läßt sich leicht erklären. Wir haben schon oben gesehen, daß im leeren Raume die Spannkraft des Wasserdampfes für eine bestimmte Temperatur eine gewisse Gränze nicht übersteigen kann, daß aber das Maximum der Spannkraft mit der Temperatur steigt. Für eine Temperatur von 20° z. B. ist das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes 17,4 Millimeter und die entsprechende Dichtigkeit des Wasserdampfes 0,0000173; in einem luftleeren Raume von 1 Cubikmeter können also bei einer Temperatur von 20° höchstens 17,3 Gramm Wasser als Dampf enthalten sein.

Wir haben aber ferner gesehen, daß in einem lufterfüllten Raume gerade ebenso viel Wasserdampf enthalten sein kann als in einem gleich großen luftleeren Raume, und daß sich in diesem Falle die Spannkraft der Luft und die Spannkraft des in ihr verbreiteten Wasserdampfes summiren. Bei einer Temperatur von 20° können also in einem Cubikmeter Luft ebenfalls 17,3 Gramm Wasser als Dampf enthalten sein.

Man sagt, die Luft sei mit Wasserdampf *gesättigt*, wenn der in ihr verbreitete Wasserdampf das ihrer Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft und Dichtigkeit erreicht hat.

Bringt man in eine mit Feuchtigkeit gesättigte Luft einen kälteren Körper, so wird dieser die nächsten Luftschichten erkalten, ein Theil des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes wird sich verdichten müssen und setzt sich in Form von feinen Tröpfchen an den kalten Körper an. Auf diese Weise bildet sich der Beschlag an den Fensterscheiben in einem bewohnten erwärmten Zimmer, wenn die Temperatur der äußeren Luft niedrig genug ist, um die Fensterscheiben hinlänglich zu erkalten.

Nicht immer ist die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, d. h. es ist nicht immer in derselben gerade so viel Wasserdampf enthalten, als sie bei ihrer Temperatur aufnehmen könnte. Nehmen wir z. B. an, jedes Cubikmeter Luft enthielte bei einer Temperatur von 20° nur 13,63 Gramm Wasserdampf, so ist sie nicht gesättigt; denn bei dieser Temperatur könnte ja jedes Cubikmeter Luft 17,3 Gramm Wasserdampf enthalten.

Die Temperatur, für welche eben die Verdichtung des Wasserdampfes be-

Digitized by Google

gimmt, die Temperatur also, für welche die Luft gerade mit Wasserdampf gesättigt ist, heißt der **Thaupunkt**.

Der Thaupunkt ist es nun, welchen man am Daniell'schen Hygrometer beobachtet; sobald nämlich die Kugel *a* bis zur Temperatur des Thaupunktes erkaltet ist, fängt die Kugel an sich zu beschlagen, die Temperatur des Thaupunktes liest man unmittelbar an dem in die Kugel *a* hineinragenden Thermometer ab.

Wenn man nun eine Tabelle zur Hand nimmt, in welcher man das Maximum des Wassergehaltes in einem Raume von 1 Cubikmeter für jeden einzelnen Temperaturgrad angegeben findet, so kann man in einer solchen Tabelle sogleich finden, welches der dem beobachteten Thaupunkt entsprechende Wassergehalt der Luft ist.

300 **August's Psychrometer** ist Fig. 553 dargestellt; es besteht aus zwei an einem und demselben Gestelle befestigten Thermometern; die Kugel des einen ist mit einem feinen Leinwandläppchen umgeben, während die Kugel des anderen frei bleibt; wenn man die Hülle der einen Thermometerkugel mit Wasser befeuchtet, so wird das Wasser verdunsten, und zwar wird die Verdunstung um so rascher vor sich gehen, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Die Verdunstung des Wassers ist aber von einer Wärmebindung begleitet, in Folge deren das umwickelte Thermometer sinkt. Wenn die Luft vollkommen mit Feuchtigkeit gesättigt ist, so wird kein Wasser verdampfen können, die beiden Thermometer stehen alsdann gleich hoch; ist aber die Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt, so wird das umwickelte Thermometer sinken, und zwar um so tiefer, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Aus der Temperaturdifferenz der beiden Thermometer kann man auf den Feuchtigkeitszustand der Luft schließen.

Fig. 553.

301 **Tägliche und jährliche Variationen im Wassergehalte der Luft.** Da bei hoher Temperatur mehr Wasserdampf in der Luft verbreitet sein kann, da mit steigender Wärme das Wasser an der Oberfläche der Gewässer und vom feuchten Boden mehr und mehr verdunstet, so läßt sich wohl erwarten, daß der Wassergehalt der Luft im Laufe eines Tages ab- und zunehmen wird.

Digitized by Google

Durch Versuche mit den oben beschriebenen Instrumenten hat man ermittelt, daß sich im Allgemeinen die Menge des Wasserdampfes in der Luft vermehrt, wenn von Sonnenaufgang an die Temperatur steigt; jedoch dauert dies nur bis 9 Uhr, wo ein durch die starke Erwärmung des Bodens veranlaßter aufwärtssteigender Luftstrom die Dämpfe mit in die Höhe nimmt, so daß der Wassergehalt der unteren Luftschichten geringer wird, obgleich bei immer zunehmender Wärme die Bildung der Dämpfe fortdauert. Diese Abnahme dauert bis gegen 4 Uhr; jetzt nimmt der Wassergehalt der unteren Luftschichten wieder zu, weil nun die nach oben gerichtete Luftströmung aufhört, den sich bildenden Wasserdampf wegzuführen; jedoch dauert diese Zunahme nur bis gegen 9 Uhr Abends, weil nun die immer mehr sinkende Temperatur der Luft der ferneren Dampfbildung eine Gränze setzt.

Im Winter, wo die Wirkung der Sonne weniger intensiv ist, verhält sich die Sache anders; im Januar beobachtete man nur ein Maximum des Wassergehaltes der Luft um 2 Uhr Nachmittags und ein Minimum zur Zeit des Sonnenaufgangs.

Wir sagen: „die Luft ist trocken," wenn das Wasser rasch verdunstet und wenn befeuchtete Gegenstände durch dieses rasche Verdunsten schnell trocken werden; dagegen sagen wir: „die Luft ist feucht," wenn befeuchtete Gegenstände an der Luft nur langsam oder gar nicht trocknen, wenn die geringste Temperaturerniedrigung feuchte Niederschläge bewirkt, und wenn etwas kältere Gegenstände sich mit Feuchtigkeit überziehen. Wir nennen also die Luft trocken, wenn sie weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, feucht dagegen, wenn der Thaupunkt der Temperatur der Luft sehr nahe liegt; mit diesem Urtheile über die Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft verbinden wir also durchaus kein Urtheil über den absoluten Wassergehalt der Luft. Wenn an einem heißen Sommertage bei einer Temperatur von 25° C. jedes Cubikmeter Luft 13 Gramm Wasserdampf enthält, so sagen wir, die Luft sei sehr trocken; denn bei dieser Temperatur könnte jedes Cubikmeter Luft 22,5 Gramm Wasserdampf enthalten, oder die Luft müßte bis auf 15° erkaltet werden, um bei unverändertem Wassergehalte gesättigt zu sein. Wenn dagegen im Winter bei einer Temperatur von + 2° jedes Cubikmeter Luft nur 6 Gramm Wasserdampf enthält, so ist die Luft sehr feucht, weil die Luft für die herrschende Temperatur beinahe vollständig mit Wasserdampf gesättigt ist und die geringste Temperaturerniedrigung schon einen Niederschlag zur Folge hat.

In diesem Sinne können wir sagen, daß zur Zeit des Sonnenaufgangs die Luft am feuchtesten ist, obgleich der absolute Wassergehalt geringer ist als zu jeder anderen Tageszeit. Gegen 3 Uhr Nachmittags ist im Sommer die Luft am trockensten.

Der absolute Wassergehalt der Luft ist wie die mittlere Lufttemperatur im Januar ein Minimum; er nimmt bis zum Juli zu, wo er sein Maximum erreicht, dann aber nimmt er wieder ab bis zum Ende des Jahres.

Obgleich nun der Wassergehalt der Luft im Sommer größer ist als im

Digitized by Google

Winter, so sagt man doch, die Luft sei im Sommer trockener, weil sie im Sommer durchschnittlich weiter von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist.

302 **Feuchtigkeit der Luft in verschiedenen Gegenden.** Die Bildung des Wasserdampfes ist vorzugsweise von zwei Bedingungen abhängig, nämlich von der Temperatur und von der Gegenwart von Wasser. Bei einem unbegränzten Wasservorrathe werden sich um so mehr Wasserdämpfe bilden, je höher die Temperatur ist; bei gleicher Temperatur aber werden sich in wasserreichen Gegenden mehr Dämpfe bilden können als in wasserarmen. Daraus folgt nun, daß der absolute Wassergehalt der Luft unter sonst gleichen Umständen von dem Aequator nach den Polen hin abnehmen muß, und daß sie im Inneren der großen Continente trockener, d. h. weiter von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, als auf dem Meere und an den Meeresküsten. Wie sehr die Trockenheit der Luft mit der Entfernung vom Meere zunimmt, beweist schon die Heiterkeit des Himmels der Binnenländer.

303 **Der Thau.** Es ist oben, auf Seite 546, bemerkt worden, wie der feine Thau auf der glänzenden Kugel des Daniell'schen Hygrometers entsteht, wenn diese Kugel erkaltet wird. Ebenso erklärt sich die Thaubildung im Großen.

Wenn im Sommer nach Sonnenuntergang der Himmel heiter und die Luft ruhig bleibt, so werden die verschiedenen Gegenstände auf der Erdoberfläche durch die nächtliche Strahlung gegen den Himmelsraum mehr und mehr erkalten, ihre Temperatur sinkt um 2, 3, ja manchmal um 7 bis 8° unter die Temperatur der Luft herab, die kalten Körper erniedrigen auch die Temperatur der sie zunächst umgebenden Luftschichten; und wenn diese bis zum Thaupunkte erkaltet sind, so wird sich ein Theil des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes in Form von feinen Tröpfchen an die kalten Körper ansetzen.

Da nicht alle Körper gleiches Wärmestrahlungsvermögen haben, so erkalten auch einige stärker als andere, und so kommt es, daß manche Körper stark mit Thau überzogen sind, während andere fast ganz trocken bleiben. Gras und Blätter erkalten besonders stark durch die nächtliche Strahlung, theils weil sie ein sehr starkes Strahlungsvermögen besitzen, theils aber auch, weil sie frei in die Luft hineinragen, so daß ihnen vom Boden aus nur wenig Wärme zugeleitet werden kann; man findet sie deshalb stärker bethaut als Steine und den nackten Boden.

Eine Wolkendecke, welche den Himmel überzieht, hindert die Thaubildung, weil sie die nächtliche Strahlung hindert. Auch wenn ein nur etwas lebhafter Wind weht, thaut es nicht, weil er beständig von Neuem warme Luft mit den festen Körpern in Berührung bringt, wodurch diesen fortwährend Wärme zugeführt wird und die Luft an ihnen vorbeistreicht, ehe sie bis zum Thaupunkte erkaltet werden kann.

Der Reif ist nichts Anderes als gefrorener Thau. Wenn der Körper, an welchem sich der condensirte Wasserdampf absetzt, unter 0° erkaltet ist, so

Digitized by Google

kann er sich nicht mehr in flüssiger Gestalt, sondern in Form von Eisnadeln absetzen.

Nebel und Wolken. Wenn die Wasserdämpfe, aus einem Topfe mit kochendem Wasser aufsteigend, sich in der kälteren Luft verbreiten, so werden sie alsbald verdichtet, es entsteht der Schwaden, welcher aus einer Menge kleiner hohler Wasserbläschen besteht, die in der Luft schweben. Man nennt diese Schwaden auch öfters Dampf, doch ist es kein eigentlicher Dampf mehr, wenigstens kein Dampf im physikalischen Sinne des Wortes, denn es ist ja ein verdichtetes Wassergas. 304

Wenn die Verdichtung der Wasserdämpfe nicht durch Berührung mit kalten festen Körpern, sondern durch die ganze Masse der Luft hindurch vor sich geht, so entstehen Nebel, welche im Großen dasselbe sind wie der Schwaden, den wir über kochendem Wasser sehen.

Die Nebel entstehen gewöhnlich, wenn das Wasser der Seen und Flüsse oder der feuchte Boden wärmer sind als die schon mit Feuchtigkeit gesättigte Luft. Die Dämpfe, welche in Folge der höheren Temperatur des Wassers oder des feuchten Bodens gebildet werden, verdichten sich alsbald wieder, wenn sie sich in der kälteren schon mit Wasserdämpfen gesättigten Luft verbreiten. Bei gleicher Temperaturdifferenz des Wassers und der Luft bilden sich keine Nebel, wenn die Luft trocken ist, so daß sich alle die Wasserdämpfe, welche vom Boden aufsteigen, in ihr verbreiten können, ohne sie zu sättigen.

Nach dem, was soeben über die Bildung des Nebels gesagt wurde, erklärt sich leicht, daß sich die Nebel vorzugsweise im Herbste über Flüssen und Seen und über feuchten Wiesen bilden. In England sind die Nebel besonders häufig, weil es von einem warmen Meere umspült ist; ebenso sind die warmen Gewässer des Golfstroms, welcher bis nach Neufoundland hinaufströmt, die Ursache der dort so häufigen dichten Nebel.

Manchmal beobachtet man Nebel unter scheinbar ganz verschiedenen Umständen; so sieht man dichte Nebel über den Flüssen, während die Luft wärmer ist als das Wasser oder das Eis. In diesem Falle ist die warme Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, und wenn sie sich mit den Luftschichten mischt, welche durch die Berührung mit kaltem Wasser oder dem Eise schon eine niedrigere Temperatur erlangt haben, so muß nothwendig eine Condensation des Wasserdampfes erfolgen.

Auf dieselbe Weise entstehen auch im Sommer nach Gewitterregen die Nebel über Flüssen und Seen. Die Luft ist wärmer als die Oberfläche des Wassers, aber sie ist mit Feuchtigkeit gesättigt, und sobald sie sich an Orte verbreitet, an welchen die Frische des Wassers fühlbar ist, wird durch die Erkaltung der Wasserdampf verdichtet.

Der Nebel bildet sich jedoch nicht allein über Flüssen und Seen, sondern auch mitten im Lande, sobald durch Luftströmungen wärmere feuchte Luftmassen mit kälteren gemischt und ihre Temperatur unter den Thaupunkt erniedrigt wird.

Digitized by Google

Die Wolken sind nichts Anderes als Nebel, welche in den höheren Luftregionen schweben, sowie denn Nebel nichts sind als Wolken, welche auf dem Boden aufliegen. Oft sieht man die Gipfel der Berge in Wolken eingehüllt, während die Wanderer auf diesen Bergspitzen sich mitten im Nebel befinden.

Auf den ersten Anblick scheint es unbegreiflich, wie die Wolken in der Luft schweben können, da sie doch aus Bläschen bestehen, welche offenbar schwerer sind als die umgebende Luft. Da das Gewicht dieser kleinen Wasserbläschen im Vergleich zu ihrer Oberfläche sehr gering ist, so muß die Luft ihrem Falle einen bedeutenden Widerstand entgegensetzen; sie können sich jedenfalls nur sehr langsam herabsenken, wie ja auch eine Seifenblase, welche überhaupt mit unseren Dunstbläschen eine große Aehnlichkeit hat, in ruhiger Luft nur langsam fällt. Somit müssen aber doch die Dunstbläschen, wenn auch noch so langsam, sinken, und man sollte demnach meinen, daß bei ruhigem Wetter sich die Wolken doch endlich bis auf den Boden herabsenken müßten.

Die bei ruhigem Wetter allerdings herabsinkenden Dunstbläschen können aber den Boden nicht erreichen, weil sie bald in wärmere, nicht mit Dämpfen gesättigte Luftschichten gelangen, in welchen sie sich wieder in Dampf auflösen und dem Blicke entschwinden; während sich aber unten die Dunstbläschen auflösen, werden an der oberen Gränze neue gebildet, und so scheint die Wolke unbeweglich in der Luft zu schweben.

Wir haben eben die Dunstbläschen in ganz ruhiger Luft betrachtet. In bewegter Luft werden sie der Richtung der Luftströmung folgen müssen; ein Wind, welcher sich in horizontaler Richtung fortbewegt, wird die Wolken auch in horizontaler Richtung fortführen, und ein aufsteigender Luftstrom wird sie mit in die Höhe nehmen, sobald seine Geschwindigkeit größer ist als die Geschwindigkeit, mit welcher die Dampfbläschen in ruhiger Luft herabfallen würden. Sehen wir ja doch auch, wie die Seifenblasen durch den Wind fortgeführt und über Häuser hinweggetragen werden. So erklärt sich denn auch durch die aufsteigenden Luftströme das Steigen des Nebels.

Das Ansehen der Wolken ist, je nachdem sie höher oder tiefer schweben, je nachdem sie mehr oder weniger dicht, auf diese oder jene Weise beleuchtet sind u. s. w., gar mannigfaltig. Howard hat unter den verschiedenen Wolken folgende Hauptarten unterschieden:

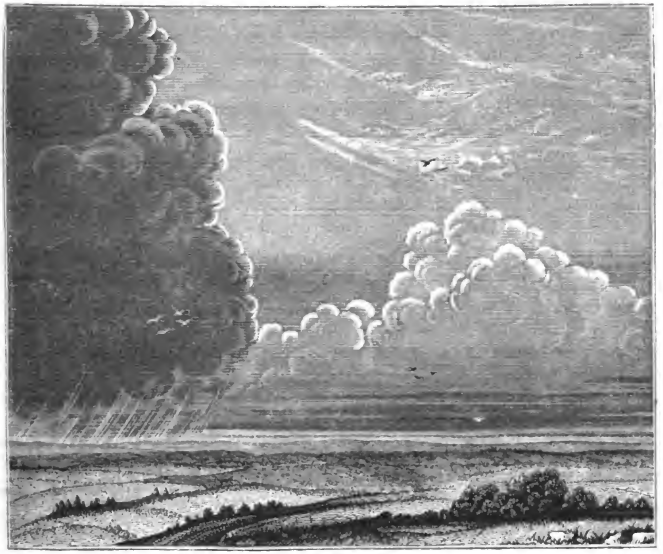
1) Die Federwolke, cirrus, besteht aus sehr zarten, bald mehr streifigen, bald mehr locken- oder federartigen Fasern, welche nach schönem Wetter zuerst am Himmel erscheinen. In unserer Fig. 554 sieht man sie in dem Eck oben rechts bis herunter, wo die zwei Vögel schweben. Bei trockenem Wetter sind die Federwolken mehr streifig, bei feuchtem mehr verwaschen.

2) Die Haufenwolke, cumulus, welche in unserer Figur gerade unter die Federwolke gezeichnet ist, bildet große halbkugelförmige Massen, welche auf horizontaler Basis zu ruhen scheinen. Diese Wolken erscheinen vorzugsweise im Sommer; manchmal thürmen sich Haufenwolken zu malerischen Gruppen zusammen und bieten dann, von der Sonne beschienen, den Anblick ferner Schneegebirge.

Digitized by Google

3) Die Schichtwolken, stratus, sind horizontale Wolkenstreifen (in unserer Figur unter dem cumulus), welche vorzugsweise bei Sonnenuntergang mit außerordentlicher Farbenpracht erscheinen.

Fig. 554.



Diese Grundformen gehen auf mannigfaltige Weise in einander über; Howard hat diese Uebergangsformen durch die Namen cirro-cumulus, cirro-stratus, cumulo-stratus und nimbus bezeichnet.

Die fedrige Haufenwolke, cirro-cumulus, ist der Uebergang der Federwolke zur Haufenwolke; es sind die kleinen, weißen, runden Wölkchen, welche unter dem Namen Schäfchen allgemein bekannt sind.

Wenn die Federwolken nicht einzeln zerstreut, sondern zu Streifen von bedeutender Ausdehnung verbunden sind, so bilden sie die fedrige Schichtwolke, cirro-stratus, welche, wenn sie nahe am Horizonte stehen, den Anblick ausgedehnter Schichten bieten; oft überziehen die cirro-stratus den ganzen Himmel mit einem Schleier.

Wenn die Haufenwolken dichter werden, so gehen sie in die streifige Haufenwolke, cumulo-stratus, über, welche oft den ganzen Horizont mit einem blauschwarzen Farbentone überziehen, und endlich in die eigentliche Regenwolke, nimbus (in unserer Figur links), übergehen.

Wenn man bedenkt, wie außerordentlich mannigfaltig an Gestalt sowohl als auch an Farbe die verschiedenen Wolken sein können, so begreift man wohl,

Digitized by Google

daß es oft schwierig ist zu unterscheiden, ob das Ansehen einer Wolke sich mehr dem einen oder dem anderen Typus nähert.

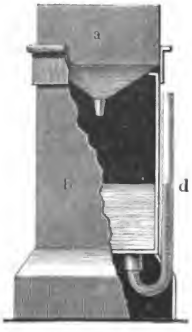
Unter allen Wolkenarten sind die Federwolken die höchsten, denn auf hohen Bergen bieten sie noch denselben Anblick wie im Thale. Kämtz hat zu Halle ihre Höhe annähernd zu 20,000 Fuß bestimmt. Es ist höchst wahrscheinlich, daß die cirrus nicht aus Nebelbläschen, sondern aus Eisnädelchen bestehen.

Die Haufenwolken bilden sich gewöhnlich, wenn durch den aufsteigenden Luftstrom die Wasserdämpfe in die Höhe geführt und dort, wegen der geringeren Temperatur, verdichtet werden. Daher kommt es, daß sich oft gegen Mittag Wolken bilden, während die Sonne am heiteren Himmel aufgegangen ist, und gegen Abend der Himmel wieder heiter wird, weil die Wolken sich wieder senken, wenn der aufsteigende Strom aufhört; in tieferen, wärmeren Regionen angekommen, lösen sich dann die Wolken wieder auf, wenn die Luft nicht mit Dämpfen gesättigt ist. Wenn aber der Südwestwind mehr und mehr Wasserdämpfe herbeiführt, wenn die Luft mit Dämpfen gesättigt ist, so können die sich senkenden Wolken nicht wieder aufgelöst werden, sie werden dichter und dunkler, während oft hoch über den unteren Wolken eine Schicht von Federwolken schwebt. Die unteren Haufenwolken gehen dann mehr und mehr in cumulostratus über, und man hat alsdann Regen zu erwarten.

Wenn durch fortwährende Condensation von Wasserdämpfen die einzelnen Dunstbläschen größer und schwerer werden, wenn endlich einzelne Bläschen sich nähern und zusammenfließen, so bilden sich förmliche Wassertropfen, welche nun als Regen herabfallen. In der Höhe sind die Regentropfen noch sehr klein, sie werden aber während des Fallens größer, weil sie wegen ihrer geringeren Temperatur die Wasserdämpfe der Luftschichten verdichten, durch welche sie herabfallen.

305 **Regenmenge.** Die Menge des Regens, welcher an irgend einem Orte der Erde im Laufe des Jahres fällt, ist für die Meteorologie ein höchst wichtiges Element. Die Instrumente, deren man sich zu diesem Zwecke bedient, werden Regenmesser, Ombrometer oder Udometer genannt. Die Fig. 555 stellt den gewöhnlichen Regenmesser dar; er besteht aus einem Blechgefäß *b*, dessen quadratischer Querschnitt ungefähr 1 Quadratfuß beträgt und auf welches ein zweites Gefäß *a* mit trichterartigem Boden aufgesetzt wird. In der Mitte dieses Trichters befindet sich eine Oeffnung, durch welche alles Wasser, welches in Form von Regen in das oben offene Gefäß *a* hineinfällt, in das Behälter *b* abfließt. Das unten gekrümmte Glasrohr *d* steht mit dem Innern des Gefäßes *b* in Verbindung, so daß man auf einer hinter *d* angebrachten Scala die Höhe des Wasserstandes in *b* ab-

Fig. 555.



Digitized by Google

lesen kann. Vorausgesetzt, daß die Querschnitte von *a* und *b* gleich sind, giebt die Höhe der Wassersäule in *d* an, wie hoch sich der Boden in einer gewissen Zeit mit Wasser bedeckt haben würde, wenn es nicht eingeschluckt worden oder verdunstet wäre.

Die jährliche Regenmenge beträgt

zu Lissabon	25	Par. Zoll
Dover.	44	„
London	23	„
Paris	21	„
Regensburg. . . .	21	„
Bergen	83	„
Stockholm	19	„
Petersburg	17	„
Genua	44	„
Rom	29	„

Die Regenmenge ist jedoch nicht gleichförmig über das ganze Jahr vertheilt; in dieser Beziehung läßt sich Europa in drei Provinzen theilen.

In England, auf den Westküsten von Frankreich, in den Niederlanden und Norwegen sind die Herbstregen vorherrschend.

In Deutschland, den westrheinischen Gegenden, Dänemark und Schweden herrschen die Sommerregen vor.

Die Sommerregen fehlen im südöstlichen Frankreich, Italien, den südlichen Portugal, überhaupt dem Theile Europas, welcher Afrika zunächst liegt, fast ganz.

Die Anzahl der Regentage während eines Jahres nimmt in Europa im Allgemeinen von Süden nach Norden zu. Im Durchschnitte kommen auf das Jahr

im südlichen Europa	120	Regentage
„ mittleren „	146	„
„ nördlichen „	180	„

Daß die Regenmenge nicht allein von der Zahl der Regentage abhängen kann, ist klar; denn es kommt ja nicht allein darauf an, an wie vielen Tagen es regnet, sondern auch wie viel es regnet. Wenn in nördlicheren Gegenden die Zahl der Regentage zunimmt, so nimmt dagegen die Intensität des Regens im Allgemeinen ab, und so erklärt es sich z. B., daß in Petersburg die Zahl der Regentage zwar größer, die Regenmenge aber geringer ist, als in Rom.

Mit der Entfernung der Meere nimmt sowohl die Regenmenge, als auch die Zahl der Regentage ab; so kommen z. B. im Durchschnitt

in Petersburg	168
„ Kasan	90
„ Jakutzk	60

Regentage auf das ganze Jahr.

So wie unter sonst gleichen Umständen der Regen in wärmeren Gegenden intensiver ist als in kälteren, so ist er auch in der warmen Jahreszeit intensiver

Digitized by Google

als in der kalten. Im Durchschnitt kommen in Deutschland auf den Winter 38, auf den Sommer 42 Regentage; die Zahl der Regentage ist also im Sommer kaum etwas bedeutender als im Winter, und doch ist die Regenmenge im Sommer ungefähr doppelt so groß als im Winter. In den Sommermonaten fällt oft bei einem einzigen Gewitter mehr Regen als sonst in mehreren Wochen.

306 **Regen zwischen den Wendekreisen.** Da, wo die Passatwinde mit großer Regelmäßigkeit wehen, ist der Himmel meistens heiter, und es regnet selten, namentlich wenn die Sonne auf der anderen Hemisphäre steht. Auf den Continenten aber wird die Regelmäßigkeit des Passates durch die Intensität des aufsteigenden Luftstromes gestört, sobald sich die Sonne dem Zenith nähert; um diese Zeit stellt sich auch ein mehrere Monate andauerndes heftiges Regenwetter ein, während die andere Hälfte des Jahres hindurch der Himmel heiter und die Luft trocken ist.

Humboldt hat uns die Erscheinungen der nassen Jahreszeit im nördlichen Theile von Südamerika beschrieben. Vom December bis zum Februar ist die Luft trocken und der Himmel heiter. Im März wird die Luft feuchter, der Himmel weniger rein, der Passatwind weht weniger stark, und oft ist die Luft ganz ruhig. Mit Ende März beginnen die Gewitter; sie bilden sich des Nachmittags, wenn die Hitze am größten ist, und sind von heftigen Regengüssen begleitet. Gegen Ende Aprils fängt eigentlich die nasse Jahreszeit an; der Himmel überzieht sich mit einem gleichförmigen Grau, und es regnet täglich von 9 Uhr Morgens bis 4 Uhr Nachmittags; des Nachts ist der Himmel meistens rein. Der Regen wird am heftigsten, wenn die Sonne im Zenith steht. Allmälig wird die Zeit des Tages, in welcher es regnet, immer kürzer und gegen Ende der Regenzeit regnet es nur Nachmittags.

Die Dauer der Regenzeit ist in verschiedenen Gegenden nicht dieselbe, sie beträgt 3 bis 5 Monate.

In Ostindien, wo die Regelmäßigkeit der Passatwinde durch örtliche Verhältnisse gestört ist und wo statt ihrer die Moussons wehen, finden wir auch anormale Regenverhältnisse; an der steilen Westküste von Vorderindien fällt die Regenzeit mit der Zeit unseres Sommers zusammen, sie fällt nämlich in die Zeit, zu welcher die Südwestmoussons wehen und, mit Feuchtigkeit beladen, an die hohen Gebirge anstoßen. Während es auf der Küste Malabar regnet, ist auf der Ostküste Coromandel der Himmel heiter; hier stellt sich die Regenzeit mit dem Nordostpassat, also gerade zu der Zeit ein, zu welcher auf der Westküste die trockene Jahreszeit herrscht.

In der Region der Calmen findet man diese periodischen Regen nicht, es finden hier fast täglich heftige Regengüsse Statt. Der aufsteigende Luftstrom führt eine Masse von Wasserdämpfen in die Höhe, welche sich in den kälteren Regionen wieder verdichten. Die Sonne geht fast immer bei heiterem Himmel auf, gegen Mittag bilden sich einzelne Wolken, welche dichter und dichter werden, bis ihnen endlich, meist unter heftigen Windstößen und elektrischen Entla-

Digitized by Google

dungen, eine ungeheure Regenmenge entſtrömt. Gegen Abend zerſtreut ſich das Gewölk, und die Sonne geht wieder bei heiterem Himmel unter.

Die jährliche Regenmenge iſt im Allgemeinen in den Tropen ſehr groß; ſie beträgt z. B. in Bombay 73,5, in Kandy 68,9, in Sierra Leone 80,9, zu Rio Janeiro 55,6, auf St. Domingo 100,9, zu Havanna 85,7 und in Granada 105 Pariſer Zoll. Bedenkt man nun, daß der Regen meiſt nur auf wenige Monate vertheilt iſt und daß es nur an wenigen Stunden des Tages regnet, ſo iſt klar, daß der Regen ſehr ſtark ſein muß. In Bombay fiel an einem Tage 6 Zoll, zu Cayenne in 10 Stunden 10 Zoll Regen. Die Regentropfen ſind ſehr groß und fallen mit ſolcher Geſchwindigkeit nieder, daß ſie auf der nackten Haut ein ſchmerzhaftes Gefühl erzeugen.

Schnee und Hagel. Ueber die Bildung des Schnees weiß man bis 307
jetzt noch ſehr wenig. Wahrſcheinlich beſtehen die Wolken, in denen ſich die Schneeflocken zuerſt bilden, nicht aus Dunſtbläschen, ſondern aus feinen Eiskryſtällchen, welche durch fortwährende Condenſation von Waſſerdämpfen größer werden und ſo Schneeflocken bilden, welche ſelbſt noch beim Herabfallen durch die unteren Luftſchichten wachſen. Sind die unteren Luftregionen zu warm, ſo ſchmelzen die Schneeflocken, ehe ſie den Boden erreichen, es regnet unten, während es oben ſchneit.

Auf die regelmäßige Geſtalt der Schneeflocken, welche man am beſten beobachten kann, wenn man ſie auf einem dunklen, unter 0° erkalteten Körper auffängt, hat ſchon Kepler aufmerkſam gemacht. Fig. 556 und Fig. 557 zeigen einige Schneefiguren, welche ich im ſchneereichen Februar 1855 beobachtet habe.

Schon eine oberflächliche Betrachtung dieſer Figuren zeigt, daß ſich alle

Fig. 556.

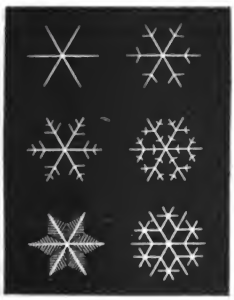


Fig. 557.

Digitized by Google

diese Gestalten im Wesentlichen auf einen regelmäßigen sechsseitigen Stern zurückführen lassen, wonach denn die Schneeflocken dem hexagonalen Krystallsysteme (dem Krystallsysteme des Bergkrystalls) angehören.

Der Graupelregen, den man gewöhnlich im März und im April beobachtet, entsteht auf ähnliche Art wie der Schnee; die Graupelkörner bestehen aus ziemlich fest zusammengeballten Eisnädelchen.

Der Hagel ist eine der furchtbarsten Geißeln für den Landmann und eines der schwierigsten Phänomene für den Meteorologen.

Die gewöhnliche Größe der Hagelkörner ist die einer Haselnuß; sehr häufig fallen kleinere, sie werden aber als weniger gefährlich nicht sonderlich beachtet, oft sind sie aber auch noch weit größer und zerschmettern dann Alles, was sie treffen.

Glaubhafte Naturforscher haben Hagelkörner beobachtet, welche 24 bis 26 Loth wogen.

Die Form der Hagelkörner ist sehr verschieden. In der Regel sind sie abgerundet, manchmal aber auch abgeplattet oder eckig. In der Mitte der Hagelkörner befindet sich in der Regel ein undurchsichtiger Kern, welcher den Graupelkörnern gleicht; dieser Kern ist mit einer durchsichtigen Eismasse umgeben, in welcher sich manchmal einzelne concentrische Schichten unterscheiden lassen; bisweilen beobachtet man abwechselnd durchsichtige und undurchsichtige Eisschichten, endlich hat man auch schon Hagelkörner mit strahliger Structur beobachtet.

Pouillet fand, daß die Temperatur der Hagelkörner — 0,5 bis — 4° beträgt.

Der Hagel geht gewöhnlich den Gewitterregen voran, oder er begleitet sie. Nie, oder wenigstens fast nie, folgt der Hagel auf den Regen, namentlich wenn der Regen einige Zeit gedauert hat.

Das Hagelwetter dauert meistens nur einige Minuten, selten dauert es $^1/_4$ Stunde lang. Die Menge des Eises, welches in so kurzer Zeit den Wolken entströmt, ist ungeheuer, die Erde ist manchmal Zoll hoch damit bedeckt.

Der Hagel fällt häufiger bei Tag als bei Nacht. Die Wolken, welche ihn bringen, scheinen eine bedeutende Ausdehnung und eine bedeutende Tiefe zu haben, denn sie verbreiten in der Regel eine große Dunkelheit. Man glaubt bemerkt zu haben, daß sie eine eigenthümliche grauröthliche Farbe besitzen, daß an ihrer unteren Gränze große Wolkenmassen herabhängen und daß ihre Ränder vielfach zerrissen erscheinen.

Die Hagelwolken scheinen meistens sehr niedrig zu schweben. Die Bergbewohner sehen öfters unter sich Wolken, welche die Thäler mit Hagel überschütten; ob jedoch die Hagelwolken immer so tief ziehen, läßt sich nicht mit Sicherheit ausmachen.

Einige Augenblicke vor dem Beginne des Hagelwetters hört man ein eigenthümliches, rasselndes Geräusch. Endlich ist der Hagel stets von elektrischen Erscheinungen begleitet.

Volta meinte, daß die Sonnenstrahlen an der oberen Gränze der dichten

Digitized by Google

Wolke fast vollständig absorbirt würden, was eine rasche Verdunstung zur Folge haben müsse, namentlich wenn die Luft über den Wolken sehr trocken ist; durch diese Verdunstung sollte so viel Wärme gebunden werden, daß das Wasser in den tieferen Wolkenschichten gefriert. Wenn aber die Verdunstung des Wassers in den oberen Wolkenschichten durch die Wärme der Sonnenstrahlen veranlaßt wird, so ist nicht einzusehen, warum durch diese Verdunstung den tieferen Wolkenschichten so viel Wärme entzogen werden soll.

Um zu erklären, wie die Hagelkörner oft eine so bedeutende Größe erlangen können, schlug Volta eine Theorie vor, welche eine große Celebrität erlangt hat; er nimmt an, daß zwei mächtige, mit entgegengesetzter Elektricität geladene Wolkenschichten über einander schweben. Wenn nun die noch sehr kleinen Hagelkörner auf die untere Wolke fallen, so werden sie bis zu einer gewissen Tiefe eindringen und sich mit einer neuen Eisschicht umgeben; sie werden sich aber auch mit der Elektricität der unteren Wolke laden und von dieser zurückgestoßen, während die obere sie anzieht; sie steigen also trotz ihrer Schwere wieder zur oberen Wolke in die Höhe, wo sich derselbe Vorgang wiederholt; so fahren sie eine Zeit lang zwischen den beiden Wolken hin und her, bis sie endlich herabfallen, wenn sie zu schwer werden und die Wolken ihre Elektricität verlieren.

Auch dieser Theil der Volta'schen Theorie ist sehr unwahrscheinlich. Um ein solches Tanzen der Hagelkörner zwischen zwei Wolken zu bewirken, müßten sie eine enorm starke elektrische Ladung haben, die sich aber durch die Vermittelung der Hagelkörner so schnell verlieren müßte, daß diesen keine Zeit bliebe, zu einer namhaften Größe anzuwachsen.

Viel wahrscheinlicher ist dagegen die fast gleichzeitig (1849) von Fr. Vogel und von Carl Nöllner aufgestellte Hageltheorie. Nach dieser Theorie kann der Bläschendampf, welcher die Wolken bildet, ebenfalls weit unter den normalen Gefrierpunkt des Wassers erkalten, ohne daß ein Erstarren eintritt, wie man dies beim tropfbar flüssigen Wasser beobachtet (Seite 456). Wenn nun aus einer höheren Wolkenschicht Graupelkörner durch eine in diesem Zustande befindliche Wolke herabfallen, so muß sich auf ihnen Wasser niederschlagen, welches augenblicklich erstarrt. Bei der niedrigen Temperatur der Wolke kann auf diese Art in ganz kurzer Zeit eine massenhafte Eisbildung stattfinden.

Digitized by Google

Viertes Capitel.

Optiſche Erſcheinungen der Atmoſphäre.

308 **Farbe des Himmels.** Der heitere Himmel erſcheint uns blau, und zwar iſt dieſes Blau, je nach dem Zuſtande der Atmoſphäre, bald heller und weißlicher, bald dunkler; auf hohen Bergen erſcheint der Himmel ſehr dunkelblau, ja faſt ſchwarz. Es iſt dies leicht zu erklären; wenn die Luft abſolut durchſichtig wäre, wenn die einzelnen Lufttheilchen gar kein Licht reflectirten oder vielmehr zerſtreuten, ſo müßte uns der Himmel vollkommen ſchwarz erſcheinen, die Sonne, der Mond, die Sterne würden glänzend auf dem ſchwarzen Grunde ſtehen; nun aber reflectiren die Lufttheilchen das Licht, und ſo kommt es, daß bei Tage der ganze Himmel hell erſcheint, weil die von der Sonne erleuchteten Lufttheilchen das Licht nach allen Seiten hin zerſtreuen. Dieſe Erleuchtung der Atmoſphäre durch die Sonnenſtrahlen iſt die Urſache, daß wir die Sterne bei Tage nicht ſehen können. Die Lufttheilchen reflectiren vorzugsweiſe das blaue Licht, und deshalb ſcheint uns der an und für ſich dunkle Himmelsraum mit Blau überzogen. Je höher wir uns in die Atmoſphäre erheben, deſto dünner wird dieſer blaue Ueberzug und deſto dunkler wird uns alſo auch der Himmel erſcheinen; ſo erſcheint auch im Zenith der Himmel ſtets am dunkelſten blau und gegen den Horizont mehr weißlich.

Das reine Blau des Himmels wird beſonders durch die in der Luft ſchwebenden condenſirten Waſſerdämpfe gebleicht, durch feine Nebel, welche oft den Himmel mit einem leichten Schleier überziehen, ohne doch ſchon dicht genug zu ſein, um als Wolken zu erſcheinen.

Die Erſcheinungen der Abend- und Morgenröthe wurden dadurch erklärt, daß man ſagte, die Luft laſſe vorzugsweiſe die rothen und gelben Strahlen durch, ſie reflectire aber die blauen; des Abends und des Morgens haben aber die Sonnenſtrahlen einen ſehr weiten Weg durch die Atmoſphäre zurückzulegen, daher die rothe Färbung der durchgelaſſenen Strahlen, welche beſonders brillant iſt, wenn Wolken durch dieſe Strahlen beleuchtet werden.

Dieſe Meinung kann nicht ganz richtig ſein, indem das Blau des Himmels durchaus nicht die complementäre Farbe des Abendrothes iſt. Das Abendroth rührt wahrſcheinlich von dem in der Luft enthaltenen Waſſerdampfe her.

Wenn aus dem Sicherheitsventile einer Dampfmaſchine, etwa einer Loco-

Digitized by Google

motive, eine Dampfsäule aufsteigt, so erblickt man durch dieselbe die Sonne tief orangeroth gefärbt. Nahe über dem Sicherheitsventile, zu welchem der Dampf herausbläst, ist dessen Farbe für durchgehendes Licht das erwähnte tiefe Orangeroth; in größerer Entfernung jedoch, wo der Dampf vollständiger verdichtet ist, hört die Erscheinung gänzlich auf. Selbst bei mäßiger Dicke ist die Dampfwolke durchaus undurchdringlich für die Sonnenstrahlen, sie wirft einen Schatten wie ein fester Körper; und wenn ihre Dicke gering ist, so ist sie zwar durchscheinend, aber durchaus farblos. Die Orangefarbe des Dampfes scheint also einer besonderen Stufe der Verdichtung anzugehören. Bei vollkommener Gasgestalt ist der Wasserdampf ganz durchsichtig und farblos; in jenem Uebergangszustande ist er durchsichtig und rauchroth; wenn er aber vollständig zu Nebelbläschen verdichtet ist, so ist er bei geringer Dicke durchscheinend und farblos, bei großer Dicke vollkommen undurchsichtig.

Als reine, farblose, elastische Flüssigkeit giebt der Wasserdampf der Luft ihre größte Durchsichtigkeit, wie man sie besonders beobachtet, wenn sich nach einem heftigen Regen der Himmel wieder aufhellt. Im Uebergangszustande läßt er die gelben und rothen Strahlen durch und bringt in diesem Zustande die Erscheinungen der Abendröthe hervor.

Diese Theorie erklärt auch sehr gut, daß das Abendroth weit brillanter ist als das Morgenroth, daß Abendroth und Morgengrau die Anzeigen schönen Wetters sind. Gleich nach dem Temperaturmaximum des Tages und vor Sonnenuntergang fangen der Boden und die Luftschichten in verschiedener Höhe an, Wärme durch Strahlung zu verlieren. Bevor sich aber in Folge dessen der Wasserdampf vollständig verdichtet, durchläuft er jenen Uebergangszustand, welcher die Abendröthe erzeugt. Des Morgens ist es anders. Die Dämpfe, welche bei Umkehrung des Processes wahrscheinlich das Roth erzeugt haben würden, steigen nicht eher auf, als bis die Wirkung der Sonne schon lange angehalten hat; alsdann ist aber die Zeit des Sonnenaufganges vorüber, die Sonne steht schon hoch am Himmel. Das feurige Ansehen des Morgenhimmels rührt von der Anwesenheit eines solchen Ueberschusses an Feuchtigkeit her, daß durch die Verdichtung in höheren Regionen wirklich Wolken entstehen, im Gegensatze mit der Tendenz der steigenden Sonne, sie zu zerstreuen; das Morgenroth ist deshalb als Vorbote baldigen Regens zu betrachten.

Wenn die Sonne am westlichen Horizonte verschwunden ist, so tritt nicht plötzlich die Dunkelheit ein, sondern eine Dämmerung, welche nach Umständen bald längere, bald kürzere Zeit dauert. Diese Dämmerung rührt daher, daß die Luft am westlichen Himmel und die in ihr schwebenden Wassertheilchen noch von der Sonne beschienen werden, nachdem sie unseren Blicken schon verschwunden ist, und daß diese erleuchteten Luft- und Wassertheilchen uns noch ein allmälig mehr und mehr abnehmendes Licht zusenden. In unseren Gegenden dauert die Dämmerung ungefähr, bis die Sonne 18° unter dem Horizonte ist. Die längere Dauer der Dämmerung in höheren Breiten rührt besonders daher, daß die Sonnenbahn hier stark gegen den Horizont geneigt ist, daß es also lange dauert, bis sie 18° unter dem Horizonte steht. Je mehr wir uns dem Aequa-

Digitized by Google

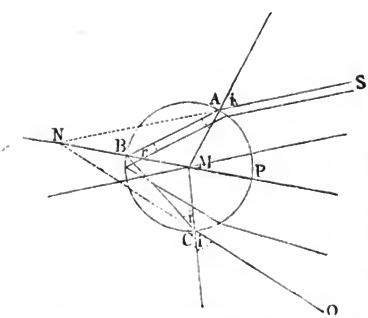
tor nähern, desto weniger schräg ist die Sonnenbahn gegen den Horizont; unter dem Aequator selbst macht sie einen rechten Winkel mit demselben; in den heißen Ländern ist deshalb die Dämmerung von kürzerer Dauer. In Italien ist sie kürzer als bei uns; in Chili dauert sie nur $^1/_4$ Stunde, in Cumana nur einige Minuten. Diese kurze Dauer der Dämmerung läßt sich jedoch nicht allein durch die Richtung der Sonnenbahn gegen den Horizont erklären, sie hat zum Theil auch in der außerordentlichen Reinheit des Himmels ihren Grund; denn in unseren Gegenden tragen die zarten, hoch in der Luft schwebenden Nebel, welche bei Tage den Himmel mit einem Schleier überziehen, die Lichtstrahlen aber stark reflectiren, sehr zur Verlängerung der Dämmerung bei.

309 **Der Regenbogen.** Es ist allgemein bekannt, daß man einen Regenbogen sieht, wenn man eine regnende Wolke vor sich und die Sonne im Rücken hat. Der Regenbogen bildet gleichsam die Basis eines Kegels, dessen Spitze das Auge ist und dessen Axe mit der geraden Linie zusammenfällt, welche man durch die Sonne und das Auge legen kann. Unter den eben angegebenen Bedingungen erscheint auch der Regenbogen in dem Staubregen der Wasserfälle und Springbrunnen.

Um den Regenbogen zu erklären, muß man den Weg der Sonnenstrahlen durch die Regentropfen verfolgen.

Wenn ein Sonnenstrahl SA, Fig. 558, einen Regentropfen trifft, so wird er gebrochen, und es ist leicht, die Richtung des gebrochenen Strahles AB zu berechnen oder zu construiren. Der gebrochene Strahl AB wird in B an der Rückwand des Tropfens nach C gespiegelt und tritt dann nach einer zweiten Brechung in der Richtung CO aus. Der austretende Strahl CO macht mit dem einfallenden einen Winkel SNO.

Fig 558.



Es fallen aber parallel mit SA noch viele andere Sonnenstrahlen auf den Tropfen, und wenn man für einige derselben den Weg durch den Tropfen berechnet oder construirt, wie dies in unserer Figur noch für einen zweiten geschehen ist, so ergiebt sich, daß die austretenden Strahlen nicht unter einander parallel sind.

Während also ein paralleles Lichtbündel auf den Tropfen trifft, tritt ein stark divergirendes Strahlenbündel aus dem Tropfen aus. Es ist begreiflich, daß durch diese Divergenz der aus dem Tropfen kommenden Strahlen die Stärke des Lichteindruckes, den sie hervorbringen, ganz außerordentlich geschwächt

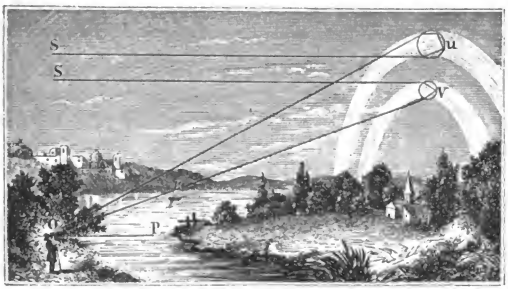
Digitized by Google

wird, namentlich wenn die Tropfen in einer nur etwas bedeutenden Entfernung vom Auge sich befinden. Unter allen aus dem Tropfen nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung ins Auge kommenden Strahlen können demnach nur diejenigen einen merklichen Lichteindruck machen, für welche diese Divergenz ein Minimum ist, oder mit anderen Worten, nur diejenigen, welche sehr nahe parallel austreten.

Bei genauerer Untersuchung ergiebt sich, daß eine ziemliche Menge parallel einfallender Strahlen den Tropfen in nahe gleicher Richtung verläßt, und zwar für rothes Licht diejenigen, für welche der Winkel SNO nahe $42^{0}\,30'$ ist; diese Strahlen werden unter allen aus dem Tropfen kommenden allein einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können.

Denkt man sich durch die Sonne und das Auge des Beobachters eine gerade Linie OP, Fig. 559, gezogen und durch dieselbe Verticalebene gelegt;

Fig. 559.



zieht man ferner durch O eine Linie OV so, daß der Winkel $POV = 42^{0}\,30'$, so werden nach dieser Richtung hin sich befindende Regentropfen nach einmaliger innerer Spiegelung wirksame Strahlen ins Auge senden. Jedoch nicht allein in dieser Richtung empfängt das Auge wirksame Strahlen, sondern, wie leicht begreiflich, von allen Regentropfen, die in der Kegeloberfläche liegen, welche durch Umdrehung der Linie OV um die Axe OP entsteht; das Auge wird also einen lichten rothen Kreis sehen, dessen Mittelpunkt auf der von der Sonne durch das Auge gezogenen Geraden liegt und dessen Halbmesser unter einem Winkel von $42^{0}\,30'$ erscheint.

In der erwähnten Richtung sieht man einen Kreis, der als ein rother Ring von $30'$ Breite erscheint, weil die Sonne nicht ein Punkt, sondern eine Scheibe ist, die den scheinbaren Durchmesser $30'$ hat. Die wirksamen violetten Strahlen treten aber nach einer Richtung aus, welche einen Winkel von $40^{0}\,30'$ mit den einfallenden Strahlen macht, das Auge erblickt also einen violetten Ring von $30'$ Breite, dessen Radius nur $40^{0}\,30'$ beträgt. Zwischen diesen äußersten Bogen erscheinen die der übrigen prismatischen Farben, und so bildet also gewissermaßen der Regenbogen ein zu einem kreisförmigen Bogen aus-

Digitized by Google

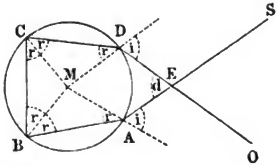
gedehntes Spectrum. Die ganze Breite des Regenbogens beträgt ungefähr 2^0, da ja der Halbmesser des rothen Bogens um 2^0 größer ist als der des violetten.

Was die Ausdehnung des farbigen Bogens betrifft, so hängt sie offenbar von der Höhe der Sonne über dem Horizonte ab. Wenn die Sonne eben untergeht, erscheint der Regenbogen im Osten, der Mittelpunkt des Bogens liegt dann gerade im Horizonte, weil die durch die Sonne und das Auge gezogene Linie eine horizontale ist; wenn der Beobachter in der Ebene steht, so bildet der Regenbogen gerade einen Halbkreis, er kann aber mehr als einen Halbkreis übersehen, wenn er auf einer isolirten Bergspitze von geringer Breite steht. Bei Sonnenaufgang erscheint der Regenbogen im Westen. Je höher die Sonne steht, desto tiefer liegt der Mittelpunkt des farbigen Bogens unter dem Horizonte, desto kleiner ist also das dem Auge sichtbare Bogenstück. Wenn die Sonne $42^0\,30'$ hoch steht, ist für einen in der Ebene stehenden Beobachter gar kein Regenbogen mehr sichtbar, weil alsdann der Gipfel desselben gerade in den Horizont, der ganze Bogen also unter den Horizont fallen würde. Von den Masten der Schiffe sieht man oft Regenbogen, welche einen ganzen Kreis bilden; solche ganz kreisförmige Regenbogen sieht man auch oft an Wasserfällen und Springbrunnen.

Außer dem eben besprochenen Regenbogen sieht man gewöhnlich noch einen zweiten größeren, mit dem ersteren concentrischen, bei welchem die Ordnung der Farben die umgekehrte ist; beim äußeren Regenbogen ist nämlich das Roth innen, das Violet außen. Der äußere Regenbogen ist weit weniger lichtstark als der innere, er erscheint weit blasser. Man hatte früher die irrige Ansicht, der zweite Regenbogen sei gleichsam ein Spiegelbild des ersten. Die Entstehung des äußeren Regenbogens beruht auf denselben Principien wie die des inneren; er entsteht durch Sonnenstrahlen, welche in den Regentropfen eine zweimalige Brechung und eine zweimalige innere Reflexion erlitten haben.

In Fig. 560 ist der Gang eines Lichtstrahles dargestellt, welchen derselbe im Regentropfen nimmt, um ihn nach zweimaliger innerer Spiegelung zu verlassen. SA ist der einfallende Sonnenstrahl, welcher nach AB gebrochen, dann in B und C gespiegelt wird und bei D in der Richtung DO wieder austritt. In diesem Falle schneiden sich der einfallende und der austretende Strahl und bilden einen Winkel d mit einander, dessen Größe veränderlich ist, je nachdem der einfallende Strahl den Tropfen an einer anderen Stelle, also unter einem anderen Einfallswinkel trifft.

Fig. 560.



In diesem Falle machen die wirksam austretenden rothen Strahlen einen Winkel von 50^0, die wirksam austretenden violetten Strahlen machen einen

Digitized by Google

Winkel von $53^1/_2{}^0$ mit den einfallenden; das Auge erblickt also eine Reihe concentrischer farbiger Ringe, deren innerster roth ist und 50^0 Halbmesser hat, während der äußerste violette Ring einen Halbmesser von $53^1/_2{}^0$ hat.

Der äußere Regenbogen ist blasser, weil er durch Strahlen gebildet wird, welche eine zweimalige innere Spiegelung erlitten haben, da das Licht bei jeder Spiegelung eine Schwächung erleidet. Man würde noch einen dritten und einen vierten Regenbogen sehen können, welche durch Strahlen gebildet werden, die eine dreimalige und eine viermalige innere Spiegelung erlitten haben, wenn diese Strahlen nicht zu lichtschwach wären.

Höfe und Nebensonnen. Oft sieht man, wenn der Himmel mit 310
einem leichten Wolkenschleier überzogen ist, dicht um die Sonne und den Mond farbige Ringe. Sehr häufig sieht man diese Ringe nicht vollständig, sondern nur stückweise. Wenn man die Mondhöfe häufiger beobachtet als die Sonnenhöfe, so liegt der Grund darin, daß das Licht der Sonne zu blendend ist; man sieht aber diese auch, sobald man das Bild der Sonne in ruhigem Wasser oder in einem auf der Rückseite geschwärzten Spiegel betrachtet.

Diese Höfe haben die größte Aehnlichkeit mit der Glorie, welche man um eine Kerzenflamme sieht, wenn man sie durch eine mit semen lycopodii bestreute Glasplatte betrachtet, und sicherlich sind die Höfe ebenso wie dieses Phänomen zu den Interferenzerscheinungen zu zählen; die Dunstbläschen vertreten die Stelle der feinen Staubtheilchen.

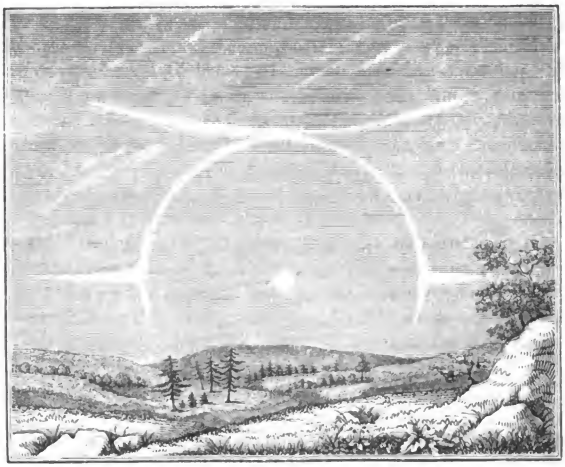
Bisweilen sieht man auch noch zwei größere lichte Kreise um die Sonne und den Mond, welche mit den Höfen nicht zu verwechseln sind; der Halbmesser des kleineren dieser hellen Ringe erscheint unter einem Winkel von 22 bis 23^0, der des größeren aber unter einem Winkel von 46 bis 47^0; das Roth ist bei denselben nach innen gekehrt, der innere Rand ist schärfer, der äußere mehr verschwommen und weniger deutlich gefärbt. Selten erscheinen die beiden Kreise zu gleicher Zeit. Fig. 561 (a. f. S.) stellt die Erscheinung dar, wie man sie wohl am häufigsten zu beobachten die Gelegenheit hat; es ist nämlich der kleinere Ring von 22 bis 23^0 Radius; er ist durch einen horizontalen lichten Streifen durchschnitten, welcher sich oft bis zur Sonne selbst erstreckt. Da, wo dieser Streifen den Lichtring durchschneidet, ist er am hellsten; diese hellen Stellen, welche man zu beiden Seiten der Sonne am äußeren Umfange des Ringes sieht, sind die Nebensonnen; bisweilen erscheint eine solche Nebensonne auch vertical über der Sonne im Gipfel des Ringes; oft erscheint hier aber auch ein Berührungsbogen, wie er in Fig. 561 dargestellt ist. Oft sieht man die Nebensonnen auch ohne die Ringe, oder die Ringe ohne die Nebensonnen. Die Ringe und die Nebensonnen erscheinen ebenfalls nie bei ganz heiterem Himmel, sondern nur wenn derselbe mit einem Schleier überzogen ist.

Man hat die erwähnten Ringe durch eine Brechung des Lichtes in den in der Luft schwebenden Eisnadeln erklärt; wenn die Eisnadeln sechsseitige Säulen sind, so bilden immer je zwei nicht parallele und nicht zusammenhängende Seitenflächen einen Winkel von 60^0 mit einander, die Eisnadeln bilden also

Digitized by Google

gewissermaßen gleichseitige, dreiseitige Prismen, für welche das Minimum der Ablenkung ungefähr 23° beträgt. Solche Strahlen nun, welche in den Eisnadeln

Fig. 561.



das Minimum der Ablenkung erlitten haben, sind den wirksamen Strahlen des Regenbogens analog, weil viele Strahlen sehr nahe in derselben Richtung austreten. Diese Hypothese erklärt also zugleich die Bildung des Ringes, seine Größe und die Anordnung der Farben.

Der Ring von 46° erklärt sich durch die Annahme, daß die Axe der Prismen in der Weise schief steht, daß der rechte Winkel, welchen die Seitenflächen der Säule mit der Basis bilden, der brechende Winkel des Prismas wird. Für ein Eisprisma, dessen brechender Winkel 90° beträgt, ist in der That das Minimum der Ablenkung 46°.

Den Nebensonnenstreifen erklärt man durch die Reflexion der Sonnenstrahlen an den verticalen Flächen der Eisnadeln; er ist da am hellsten, wo er den Ring von 23° durchschneidet, weil hier zwei Ursachen stärkerer Erleuchtung zusammenwirken.

311 **Irrlichter** nennt man gewöhnlich kleine Flämmchen, welche in sumpfigen Gegenden, Mooren, Kirchhöfen u. s. w., kurz an Orten, wo Fäulniß und Verwesung vor sich gehen, nicht hoch über dem Boden zum Vorschein kommen, eine hüpfende unruhige Bewegung zeigen und bald wieder verschwinden. Während man gewöhnlich von den Irrlichtern als von einer ganz bekannten und erklärten Erscheinung redet, so herrscht doch über dieses Phänomen noch große Ungewißheit, indem nicht einmal das Thatsächliche selbst genügend ermittelt ist.

Digitized by Google

was einestheils daher rührt, daß die Irrlichter sehr selten sind, und daß die meisten Personen, welche solche sahen, nicht immer im Stande waren, genau zu beobachten und das Gesehene vorurtheilsfrei zu erzählen.

Volta meinte, die Irrlichter beständen aus Sumpfgas (Kohlenwasserstoffgas), welches durch einen elektrischen Funken entzündet würde. Aber woher soll der elektrische Funken kommen? Andere meinen, es sei Phosphorwasserstoffgas, welches sich entzündet, sobald es mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommt; alsdann aber würde man einen momentanen, von einer Verpuffung begleiteten Lichtblitz und nicht ein länger anhaltendes mattes Licht beobachten. Die wahrscheinlichste Ansicht ist noch die, daß die Irrlichter durch ein phosphorhaltiges Wasserstoffgas erzeugt werden, welches nicht eigentlich als Flamme verbrennt, sondern nur schwach phosphorescirt.

Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine. Eine 312
allgemein bekannte Erscheinung, welche deshalb auch keiner weiteren Beschreibung bedarf, sind die Sternschnuppen. Durch correspondirende Beobachtungen hat man ermittelt, daß die Höhe der Sternschnuppen bis zu 35 Meilen beträgt, und daß sie sich mit einer Geschwindigkeit von 4 bis 8 Meilen in der Secunde bewegen.

Eine höchst merkwürdige Erscheinung sind die periodisch wiederkehrenden Sternschnuppenschwärme, welche man in der Zeit vom 12. bis 14. November und am 10. August (dem Feste des heiligen Laurentius) beobachtet; das letztere Phänomen wird schon in einem alten englischen Kirchenkalender, unter dem Namen der feurigen Thränen des heiligen Laurentius, als eine wiederkehrende Erscheinung erwähnt. Einer der bedeutendsten Sternschnuppenschwärme wurde den 12. bis 13. November 1833 in Nordamerika beobachtet, wo die Sternschnuppen fast wie Schneeflocken zusammengedrängt erschienen, so daß innerhalb 9 Stunden 240000 fielen.

Die Feuerkugeln scheinen mit den Sternschnuppen gleichen Ursprungs und gleicher Natur zu sein und sich nur durch die Größe der Erscheinung von ihnen zu unterscheiden. Bei den großen Sternschnuppenschwärmen sah man Feuerkugeln unter den Sternschnuppen.

Die Feuerkugeln zerplatzen unter großem Getöse und lassen dann Steinmassen herabfallen, welche unter dem Namen der Meteorsteine oder der Aërolythen bekannt sind. Auch bei Tage hat man solche Meteorsteine aus kleinen graulichen Wolken ebenfalls unter starkem Getöse herabfallen sehen.

Die frisch gefallenen Meteorsteine sind noch heiß und in Folge der Geschwindigkeit des Fallens mehr oder minder tief in den Boden eingedrungen.

Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts war man sehr geneigt, das Herabfallen von Steinmassen aus der Luft für ein Mährchen zu erklären; seitdem aber haben sich Meteorsteinfälle ereignet, welche von mehreren Personen beobachtet und durch sachkundige Männer gehörig constatirt wurden. Dahin gehört besonders der Meteorsteinfall am 26. April 1803 bei Aigle im Departement de l'Orne, welchen Biot untersuchte, und der am 22. Mai 1808 zu

Digitized by Google

Stannern in Mähren. Am 13. November 1835 (also zur Zeit der Sternschnuppenperiode) wurde im Departement Ain durch einen Aërolythen ein Haus angezündet.

Die Meteorsteine haben eine eigenthümliche Physiognomie, wodurch sie sich von allen irdischen Fossilien unterscheiden, dennoch aber sind sie unter einander wieder so verschieden, daß Chladni, welcher sich so viel mit diesem Gegenstande beschäftigte, es für schwierig hielt, einen allgemeinen Charakter anzugeben; besonders charakteristisch ist aber doch wohl der Gehalt an gediegenem Eisen, und eine pechartig glänzende, zuweilen geäderte Rinde, welche fast nie fehlt. Eine weitere Beschreibung würde uns zu tief in mineralogische Details führen.

Man hat an verschiedenen Orten Steinmassen auf dem Boden gefunden, welche dem Gebirgssystem jener Gegenden ganz fremd sind, aber mit notorischen Meteorsteinen die größte Aehnlichkeit haben, und ist deshalb berechtigt, auch diese für Aërolythen zu halten.

Die Masse der Meteorsteine ist oft sehr groß; man hat deren gefunden, welche mehrere Pfunde bis 400 Centner wogen.

Es ist kaum mehr zu bezweifeln, daß die Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine kosmischen Ursprungs, daß sie höchst wahrscheinlich Massen sind, welche wie die Planeten um die Sonne kreisen und, in die Anziehungssphäre der Erde gerathend, herabfallen. Die Feuer- und Lichterscheinung erklärt sich am einfachsten durch die Annahme, daß diese kleinen Weltkörper mit einer Atmosphäre brennbarer Gase umgeben sind, welche sich beim Eintritte in die sauerstoffhaltige Atmosphäre der Erde entzündet. Wenn man annimmt, daß außer unzähligen, einzeln um die Sonne kreisenden Massen der Art ganze Schwärme derselben einen Ring um die Sonne bilden, daß die Ebene eines solchen Ringes an einer bestimmten Stelle die Erdbahn schneidet, so erklären sich dadurch die periodischen Sternschnuppenfälle.

Digitized by Google

Fünftes Capitel.

Von der atmosphärischen Elektricität und dem Erdmagnetismus.

Entdeckung der atmosphärischen Elektricität. Otto 313
v. Guerike, der berühmte Erfinder der Luftpumpe, war der Erste, welcher eine elektrische Lichterscheinung beobachtete. Wall beobachtete ungefähr zu derselben Zeit einen lebhafteren Funken und ein stärkeres Geräusch, als er einen großen Harzcylinder rieb, und merkwürdiger Weise wurden die ersten durch Menschenhände hervorgebrachten elektrischen Funken auch sogleich mit dem Blitze verglichen. Dieser Funken und dieses Knacken, sagt Wall, scheinen gewissermaßen den Blitz und den Donner darzustellen. Die Analogie war überraschend; um aber ihre Wahrheit zu beweisen, um in einer so kleinen Erscheinung die Ursache und die Gesetze eines der großartigsten Phänomene der Natur zu erkennen, bedurfte es noch directer Beweise. Während man in Europa darüber hin und her redete, ob wohl der Blitz wirklich ein elektrisches Phänomen sei, wurde in Amerika der experimentelle Beweis geliefert. Nachdem Franklin mehrere elektrische Entdeckungen, besonders über die Leydener Flasche und das Vermögen der Spitzen gemacht hatte, kam er auf den glücklichen Gedanken, die Elektricität in den Gewitterwolken selbst aufzusuchen; er schloß nämlich, daß Metallspitzen, auf hohen Gebäuden aufgestellt, die Elektricität der Wolken aufsaugen müßten. Mit Ungeduld erwartete er die Vollendung eines Glockenthurmes, welcher damals in Philadelphia aufgeführt werden sollte; endlich aber müde zu warten, nahm er zu einem anderen Mittel seine Zuflucht, welches noch sicherere Resultate geben mußte. Da es ja nur darauf ankam, einen Körper hoch genug in die Luft zu erheben, so dachte Franklin, daß ein Drache, ein Spielwerk der Kinder, ihm eben so gut dienen könnte wie der höchste Thurm. Er benutzte das erste Gewitter, um den Versuch zu machen; nur von einer Person, seinem Sohne, begleitet, weil er fürchtete, sich lächerlich zu machen, wenn der Versuch mißglückte, begab er sich ins Freie und ließ den Drachen steigen. Eine Wolke, welche viel versprach, zog vorüber, ohne irgend eine Wirkung hervorgebracht zu haben; andere zogen vorüber, er bemerkte keinen Funken, kein Anzeichen von Elektricität; endlich fingen die Fasern der Schnur an sich aufzustellen, und es ließ sich ein

Digitized by Google

Geräusch hören. Dadurch ermuthigt, hielt Franklin den Finger gegen das Ende der Schnur, und siehe da, ein Funken sprang über, dem bald noch mehrere andere folgten.

Franklin hat seinen Versuch im Jahre 1752 angestellt, er wurde überall mit demselben Erfolge wiederholt. De Romas zu Nerac war, durch den ersten Gedanken Franklin's geleitet, ebenfalls auf die Idee gekommen, einen Drachen statt der hochgestellten Spitzen anzuwenden. Ohne von Franklin's Resultaten Kunde zu haben, erhielt er im Juni 1753 sehr kräftige Zeichen von Elektricität, weil er die glückliche Idee hatte, in der Schnur ihrer ganzen Länge nach einen feinen Metalldraht anzubringen. Im Jahre 1757 wiederholte de Romas seine Versuche und erhielt Funken von überraschender Größe. „Man denke sich," sagt er, „Feuerstreifen von 9 bis 10 Fuß Länge und 1 Zoll Dicke, von einem Krachen begleitet, welches eben so stark, ja stärker ist, als ein Pistolenschuß. In weniger als einer Stunde erhielt ich zum mindesten 30 solcher Funken, tausend andere nicht zu zählen, welche 7 und weniger Fuß lang waren."

Aller Vorsichtsmaßregeln ungeachtet, welche dieser geschickte Experimentator nahm, wurde er einmal durch die Heftigkeit des Schlages niedergeworfen.

Diese Versuche beweisen vollständig, daß der Blitz nur ein elektrischer Funken ist.

314 **Elektricität während der Gewitter.** Wenn man den elektrischen Zustand der Wolken untersucht, welche nach und nach über den Drachen hinziehen, so erkennt man, daß sie bald mit positiver oder negativer Elektricität geladen sind, bald sich aber auch im natürlichen Zustande befinden. Obgleich wir über die Vertheilung der Elektricität in den Wolken nichts wissen, so ist doch wohl die Anziehung und Abstoßung der ungleich oder gleich elektrisirten Wolken die Ursache der außergewöhnlichen Bewegungen, welche man während der Gewitter am Himmel beobachtet. Während dieser allgemeinen Bewegung der Atmosphäre sieht man Blitze den Himmel durchzucken und hört den Donner rollen. Diese beiden Erscheinungen wollen wir nun näher betrachten.

Manchmal sieht man den Blitz aus einer Wolke hervorbrechen und den Himmel weithin durchfurchen. Wenn man von hohen Bergen herab diese Erscheinung zu seinen Füßen beobachtet, so kann man ihre Ausdehnung besser schätzen; alle Beobachter stimmen darin überein, daß sie unter solchen Umständen Blitze gesehen haben, welche wenigstens eine Meile lang waren. Man weiß auch, daß aus derselben Wolke nach einander mehrere Blitze hervorsprühen. Endlich ist bekannt, daß die Blitze meistens einen Zickzack bilden; diese Form ist dem Blitze und dem elektrischen Funken gemein.

Die Dampfbläschen, welche die Wolken bilden, sind nicht so vollkommene Leiter als die Metalle, und ohne die Gesetze des Gleichgewichtes und der Vertheilung der Elektricität in unvollkommenen Leitern zu kennen, ist es doch klar, daß sie sich nicht auf einmal so vollständig entladen, daß sie nicht durch einen einzigen Funken in den natürlichen Zustand zurückgeführt werden können; somit erklärt es sich, daß aus einer Wolke mehrere Blitze hervorspringen können.

Digitized by Google

Die Länge des Blitzes scheint auch eine Folge der unvollkommenen Leitungsfähigkeit der Wolken und der Beweglichkeit der Theilchen zu sein, aus denen sie bestehen. Von dem Conductor der besten Elektrisirmaschine kann man durch trockene Luft hindurch Funken von 3 Fuß Länge erhalten; die Funken werden aber noch länger, wenn man sie über Stoffe von Wolle oder Seide schlagen läßt, welche mit etwas Staub bestreut sind; so müßte man auch durch einen Nebel hindurch längere Funken erhalten, wenn er nicht zu sehr die Spannung der Elektricität verminderte. Um die Länge des Blitzes zu erklären, muß man demnach wohl annehmen, daß auf dem Wege, welchen der Blitz nimmt, die Dampftheilchen schon durch Vertheilung elektrisirt sind, und daß endlich, wenn der Blitz erscheint, sich das gestörte Gleichgewicht von Schicht zu Schicht wieder herstellt, daß gewissermaßen nur Funken von Theilchen zu Theilchen überspringen, daß aber die elektrische Flüssigkeit nicht den ganzen Weg zwischen den weit entfernten Wolken durchläuft.

Der Donner entsteht durch die Vibrationen der gewaltsam erschütterten Luft. Man sieht das Licht gleichzeitig auf der ganzen Bahn des Blitzes, und auf der ganzen Strecke entsteht auch gleichzeitig der Knall; da sich aber der Schall langsamer verbreitet als das Licht, da er in einer Secunde nur 1000 Fuß zurücklegt, so sieht man den Blitz eher als man den Donner hört; ein Beobachter, welcher sich nahe an dem einen Ende der Bahn des Blitzes befindet, wird den in allen Punkten gleichzeitig entstehenden Ton nicht gleichzeitig hören. Nehmen wir an, der Blitz sei 10000 Fuß lang und der Beobachter befinde sich in der Verlängerung seiner Bahn, so wird der Schall von dem entfernteren Ende des Blitzes um 10 Secunden später ankommen, als von dem zunächst gelegenen Ende. Da demnach der Schall von den verschiedenen Stellen des Blitzes nur nach und nach zum Ohre des Beobachters gelangt, so hört er also nicht einen momentanen Knall, sondern ein, je nach der Länge des Blitzes und seiner Stellung gegen die Bahn desselben, länger oder kürzer dauerndes Rollen des Donners, welches wohl noch durch ein Echo in den Wolken verstärkt wird.

Nicht allein bei Gewitterwolken, sondern auch bei heiterem Himmel kann man mit Hülfe guter Elektroskope die Existenz einer elektrischen Spannung in der Atmosphäre nachweisen.

Ueber den Ursprung der atmosphärischen Elektricität wissen wir so gut wie nichts, obgleich über diesen Gegenstand schon gewaltig viel geschrieben worden ist. Einige meinen, daß die Elektricität der Gewitterwolken durch eine rasche Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes entstehe, daß also die Elektricität eine Folge der schnellen Bildung dichter Wolken sei.

Wirkungen des Blitzes auf der Erde. Denken wir uns, daß 315
eine etwa positiv elektrische Gewitterwolke hoch über dem Meere oder über einem großen See schwebe, so wird sie vertheilend wirken, die positive Elektricität im Wasser wird zurückgestoßen, die negative aber an der Oberfläche des Wassers angehäuft; diese Anhäufung kann so bedeutend sein, daß sie eine merkliche Er-

Digitized by Google

hebung des Wassers bewirkt, es wird sich eine große Woge, ein Wasserberg bilden können, welcher so lange bleibt, als dieser elektrische Zustand dauert, der auf dreierlei Weise endigen kann. 1) Wenn sich die Elektricität der Wolke allmälig verliert, ohne daß ein Entladungsschlag erfolgt, so wird sich auch der natürlich elektrische Zustand des Wassers allmälig wieder herstellen. 2) Wenn ein Blitz zwischen der Gewitterwolke und einer anderen, oder zwischen der Wolke und einem entfernteren Orte der Erde überschlägt, wenn also die Wolke plötzlich entladen wird, so muß die an der Oberfläche des Wasserberges angehäufte Elektricität auch rasch wieder ab-, die bisher abgestoßene rasch wieder zuströmen, es findet eine plötzliche Ausgleichung, ein Rückschlag Statt. 3) Wenn die Gewitterwolke sich nahe genug befindet und wenn sie stark genug mit Elektricität geladen ist, so schlägt der Blitz über. Dieser directe Schlag bringt in der Regel eine bedeutendere Bewegung, ein stärkeres Aufwallen des Wassers hervor als der Rückschlag. Ein solcher Schlag findet nicht ohne mächtige mechanische Wirkung auf die ponderabelen Elemente Statt.

Betrachten wir nun die Wirkungen der Gewitterwolken auf dem Lande.

Eine allmälige Zerlegung und Wiedervereinigung der Elektricität bringt keine sichtbaren Wirkungen hervor; es scheint jedoch, daß solche Störungen des elektrischen Gleichgewichtes durch organische Wesen und namentlich durch nervenkranke Personen empfunden werden können.

Der Rückschlag ist stets weniger heftig als der directe; es giebt kein Beispiel, daß er eine Entzündung veranlaßt habe, dagegen fehlt es nicht an Beispielen, daß Menschen und Thiere durch den Rückschlag getödtet worden sind; man findet an ihnen in diesem Falle durchaus keine gebrochenen Glieder, keine Wunden und keine Brandspuren.

Die furchtbarsten Wirkungen bringt der directe Schlag hervor. Wenn der Blitz einschlägt, so bezeichnet er die Stelle, wo er den Boden trifft, durch ein oder mehrere, bald mehr, bald minder tiefe Löcher.

Alles, was sich über die Ebene erhebt, ist vorzugsweise dem Blitzschlage ausgesetzt; daher kommt es, daß so oft Thiere mitten in der Ebene erschlagen werden; unter sonst gleichen Umständen ist man jedoch auf einem nichtleitenden Boden sicherer als auf einem gutleitenden.

Bäume sind schon durch die Säfte, welche in ihnen circuliren, gute Leiter; wenn eine Gewitterwolke über ihnen hinzieht, so findet in den Bäumen eine starke Anhäufung von Elektricität Statt, und deshalb sagt man mit Recht, daß Bäume den Blitz anziehen; man darf deshalb während eines Gewitters unter Bäumen, namentlich unter einsam stehenden Bäumen, ja selbst unter einsam in der Ebene stehenden Sträuchen keinen Schutz suchen. Warnende Beispiele bietet unter anderen ein Gewitter, welches am 10 Juli. 1855 zwischen 7 und 9 Uhr Morgens die ganze badische Rheinebene und einen Theil des Schwarzwaldes überzog. Während desselben erschlug der Blitz bei Thunsel oberhalb Freiburg einen Ackerknecht sammt seinen beiden Pferden auf dem Heimwege; im Amte Durlach suchten vier Personen unter einem 40 Fuß hohen Birnbaum Schutz vor dem Regen; ein Blitzschlag, welcher den Baum traf, tödtete zwei

Digitized by Google

derselben, während die beiden anderen gelähmt wurden. In der Nähe von Bruchsal endlich schlug der Blitz in eine Torfhütte, in welche sich mehrere Torfgräber geflüchtet hatten, und tödtete zwei derselben.

Gebäude sind in der Regel aus Metall, Steinen und Holz zusammengesetzt. Wegen der ungleichen Leitungsfähigkeit dieser Substanzen ist auch die Wirkung der Gewitterwolken auf dieselben sehr verschieden. Wenn der Blitz einschlägt, so trifft er vorzugsweise die besseren Leiter, mögen sie nun frei oder durch schlechtere Leiter eingehüllt sein; die vertheilende Kraft der atmosphärischen Elektricität wirkt auf den in die Wand eingeschlagenen Nagel eben so gut, wie auf die frei in die Luft ragende Windfahne.

Die mechanischen Wirkungen des Blitzes sind in der Regel sehr heftig. Wenn der Blitz in ein Zimmer einschlägt, so werden die Möbeln umgestürzt und zertrümmert, Metallstücke werden aus der Wand gerissen und fortgeschleudert. Bäume werden vom Blitz gespalten und zersplittert, gewöhnlich aber kann man vom Gipfel bis zum Boden eine mehrere Centimeter breite und tiefe Furche verfolgen, die abgeschälte Rinde und die ausgerissenen Späne findet man weit weggeschleudert, und am Fuße des Baumes sieht man oft ein Loch, durch welches das elektrische Fluidum sich in den Boden verbreitete.

Die physikalischen Wirkungen des Blitzes beweisen eine mehr oder minder bedeutende Temperaturerhöhung. Wenn der Blitz ein Strohdach, trockenes Holz, ja grüne Bäume trifft, so findet eine Verkohlung, meistens sogar eine Entzündung Statt; bei Bäumen findet man jedoch seltener Spuren von Verkohlung. Metalle werden durch den Blitz stark erhitzt, geschmolzen oder verflüchtigt. Wiederholte Blitzschläge bringen auf hohen Bergen sichtbare Spuren von Schmelzung an den Felsen hervor.

Die Blitzableiter bestehen aus einer zugespitzten Metallstange, welche 316
in die Luft hineinragt, und einem guten Leiter, welcher die Stange mit dem Boden verbindet. Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein, wenn sie ihrem Zweck entsprechen sollen:

1) Die Stange muß in eine sehr feine Spitze zulaufen;

2) die Verbindung mit dem Boden muß vollkommen leitend sein, von der Spitze bis zum unteren Ende der Leitung darf keine Unterbrechung stattfinden;

3) alle Theile des Apparates müssen die gehörigen Dimensionen haben.

Wenn eine Gewitterwolke über dem Blitzableiter schwebt, so werden die verbundenen Elektricitäten des Stabes und der Leitung zerlegt, diejenige Elektricität wird abgestoßen, welche mit der der Wolke gleichnamig ist, und sie kann sich frei im Boden verbreiten; die entgegengesetzte Elektricität aber wird nach der Spitze gezogen, wo sie frei in die Luft ausströmen kann. Auf diese Weise ist keine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter möglich. Während so der Blitzableiter in Thätigkeit ist, während ihn die entgegengesetzten Elektricitäten in entgegengesetzter Richtung durchströmen, kann man sich ihm ohne Gefahr

Digitized by Google

nähern, man kann ihn ohne Gefahr berühren; denn wo keine elektrische Spannung vorhanden ist, ist auch kein Schlag zu befürchten.

Nehmen wir nun an, eine der drei zuerst genannten Bedingungen sei nicht erfüllt, die Spitze sei stumpf, die Leitung zum Boden sei unvollkommen oder unterbrochen, so ist klar, daß eine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter nicht allein möglich, sondern auch, daß sie unvermeidlich ist; er bildet dann einen geladenen Conductor, in welchem eine ungeheure Menge von Elektricität angehäuft sein kann, man kann bald schwächere, bald stärkere Funken aus ihm ziehen.

Wenn nur die Spitze stumpf ist, so kann der Blitz einschlagen, allein er wird der Leitung folgen, ohne das Gebäude zu zerstören.

Wenn die Leitung unterbrochen oder die Verbindung mit dem Boden unvollkommen ist, so kann der Blitz ebenfalls einschlagen, er wird sich aber auch seitwärts auf andere Leiter verbreiten und eben solche Zerstörungen anrichten, als ob gar kein Blitzableiter vorhanden wäre.

Noch mehr: ein Blitzableiter, welcher diesen Fehler hat, ist sehr gefährlich, selbst wenn der Blitz nicht einschlägt; denn wenn an irgend einer Stelle der Leitung die Elektricität hinlänglich angehäuft ist, so kann ein Funken seitwärts überschlagen, welcher irgend Gegenstände zertrümmern oder entzünden kann. Man kann dafür ein trauriges Beispiel anführen. Richmann, Professor der Physik in Petersburg, wurde von einem Funken plötzlich getödtet, welcher dem Blitzableiter entfuhr, der in sein Haus heruntergeleitet war und dessen Leitung er unterbrochen hatte, um die Elektricität der Wolken zu untersuchen. Sokolow, Kupferstecher der Akademie, sah, wie der Funken Richmann auf die Stirn traf.

Fig. 562.

1/8

Fig. 562 stellt die Spitze eines Blitzableiters dar, wie sie nach Gay-Lussac's Vorschrift in Frankreich meistens ausgeführt worden. Auf einer ungefähr 20 bis 24 Fuß hohen Eisenstange ist ein 2 Fuß langer, etwas conischer Messingstab aufgeschraubt, in welchen oben mittelst Silber eine ungefähr $1^1/_2$ Zoll lange Platinnadel eingelöthet ist.

In Deutschland ist die eiserne Stange selbst zugespitzt, die Spitze ist aber vergoldet, damit sie nicht durch Oxydation abgestumpft werde.

Die oben zugespitzte Saugstange des Blitzableiters muß über der höchsten Stelle des zu schützenden Gebäudes aufgerichtet werden. Mit dem Boden wird sie durch eiserne Stangen oder durch hinlänglich dicken Kupferdraht (am zweckmäßigsten ist es, zwei oder drei 1 Linie dicke Kupferdrähte zu einem Drahtseile zu vereinigen) in leitende Verbindung gesetzt.

Es ist wesentlich, daß diese Ableitung möglichst vollständig sei. Wenn irgend ein Brunnen in der Nähe ist, so wird die metallische Leitung bis in das Wasser desselben geführt; wenn aber

Digitized by Google

kein Wasser in der Nähe ist, so sollte die Leitstange wenigstens durch einen langen, mit Kohlenpulver gefüllten Canal zu einer möglichst feuchten Stelle des Bodens geführt werden.

Wie sehr der Blitzschlag guten Leitungen folgt, hatte man z. B. bei einem heftigen Gewitter am 9. Juni 1849 zu Basel zu beobachten Gelegenheit. Der Blitz schlug in den Blitzableiter eines Wohnhauses, verfolgte die Leitung desselben bis in den Boden, sprang aber alsdann auf eine nahe liegende gußeiserne Brunnenleitung über; auf mehr als $^1/_4$ Stunde Wegs wurden alle gußeisernen Röhrenstücke, da wo sie in einander gesteckt und mit Pech gedichtet waren, zerschmettert, so daß alle durch diese Leitung gespeisten Brunnen zu laufen aufhörten.

Die Elektricität, welche in reichlichem Maße durch die Spitze ausströmt, wird durch die Gewitterwolke angezogen, und neutralisirt, daselbst angekommen, einen Theil der ursprünglichen Elektricität dieser Wolke. Wenn also eine Gewitterwolke dem Blitzableiter nahe genug ist, um vertheilend wirken zu können, so wird auch sogleich ihre elektrische Kraft durch das Zuströmen der entgegengesetzten Elektricität aus der Spitze geschwächt. Je mehr sich die Wolke nähert, desto stärker wirkt ihre vertheilende Kraft, desto mehr wird sie aber auch durch das Zuströmen der entgegengesetzten Elektricität neutralisirt.

Es versteht sich von selbst, daß die Spitze des Blitzableiters, wenn derselbe wirksam sein soll, nicht von benachbarten Leitern überragt werden darf. Ferner müssen alle bedeutenden Metallmassen der zu schützenden Gebäude mit dem Blitzableiter in leitende Verbindung gebracht werden.

Die Erfahrung zeigt, daß ein mit allen Vorsichtsmaßregeln angelegter Blitzableiter von den angegebenen Dimensionen einen Umkreis von ungefähr 80 Fuß Radius schützt.

Da es also von der größten Wichtigkeit ist, daß die metallische Leitung von der Spitze des Ableiters bis zum Boden ununterbrochen sei, so ist es wünschenswerth, sich davon überzeugen zu können, daß die Leitung nicht unterbrochen sei. In neuerer Zeit hat man dazu den galvanischen Strom angewandt. Führt man nämlich von dem einen Pole einer galvanischen Kette einen Kupferdraht zum oberen, vom anderen Pole einen solchen zum unteren Ende des Blitzableiters, so ist derselbe in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltet. Ein an passender Stelle in diesen Schließungsbogen eingeschaltetes Galvanometer muß unter diesen Umständen den Strom anzeigen, wenn die Leitung nicht unterbrochen ist.

Die magnetischen Curven. Nach dem, was bereits im Paragraph 174 besprochen wurde, verhält sich die ganze Erdkugel wie ein großer Magnet. An jedem einzelnen Orte der Erdoberfläche ist die magnetische Wirkung des Erdmagnetismus durch die Declination, die Inclination und die magnetische Intensität charakterisirt. Nachdem nun diese Größen für viele möglichst weit von einander entfernte Orte bestimmt worden sind, erhält man ein Bild von der Vertheilung des Magnetismus auf der Erde, wenn man nach Art der Isothermen magnetische Curven auf Erdkarten oder auf Erdgloben aufträgt. 317

Digitized by Google

Man unterscheidet dreierlei Arten magnetischer Curven, nämlich:

1) die isogonischen Linien, Linien gleicher magnetischer Declination,

2) die isoclinischen Linien, Linien gleicher magnetischer Inclination und

3) die isodynamischen Linien, Linien gleicher magnetischer Intensität.

Die Fig. 563 ist eine Declinationskarte, d. h. sie stellt den Verlauf

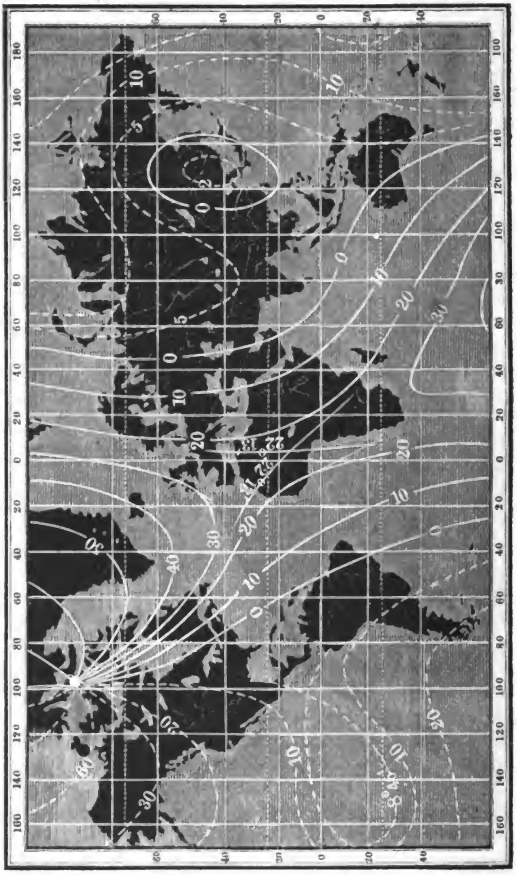


Fig. 563.

Digitized by Google

der isogonischen Linien dar und zwar zwischen dem 80. Grade nördlicher und dem 60. Grade südlicher Breite. Die ausgezogenen Curven entsprechen westlicher, die punktirten aber östlicher Declination. Auf den mit 0 bezeichneten Curven zeigt die horizontale Magnetnadel genau nach Norden.

Fig. 564, 565 und 566 stellen den Verlauf der isoclinischen Linien dar, und zwar stellt Fig. 565 die Umgebungen des Nordpols, Fig. 566 di:

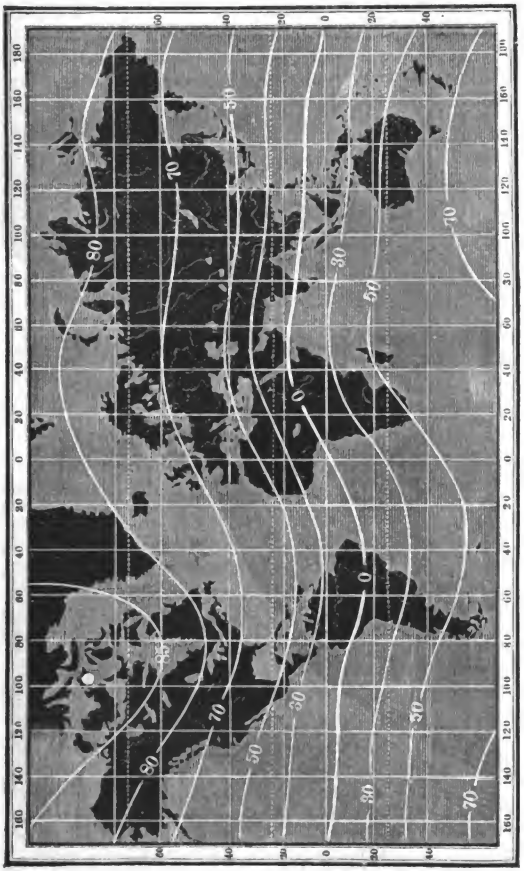


Fig. 564.

Digitized by Google

Fig. 565.

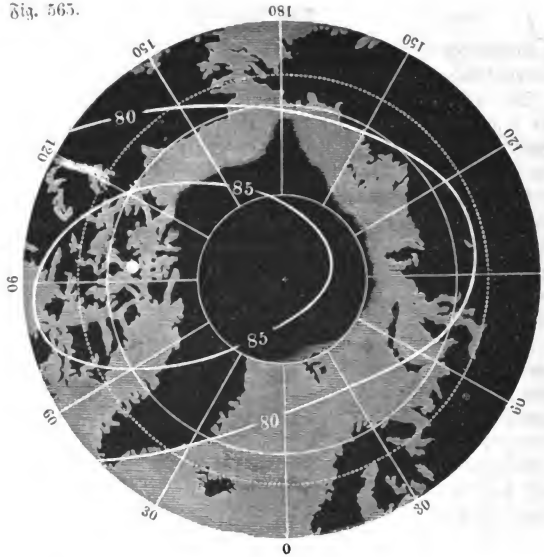
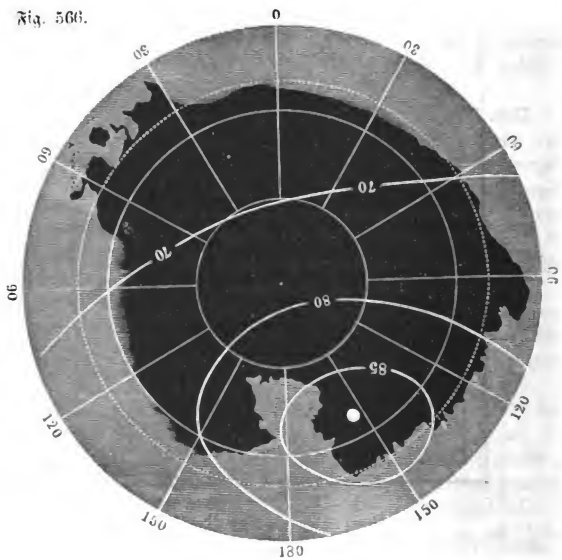


Fig. 566.



Digitized by Google

Umgebungen des Südpols der Erde dar, bis zu welchen sich eine Karte in Aequatorialprojection, wie Fig. 564, nicht erstrecken kann.

Der mit 0 bezeichnete magnetische Aequator in Fig. 564 ist etwas stärker gezogen und dadurch vor den übrigen isoclinischen Curven ausgezeichnet. Nördlich von demselben senkt sich das Nordende, südlich das Südende der Inclinationsnadel.

Die magnetischen Pole der Erde sind diejenigen Punkte, für welche sich die Inclinationsnadel senkrecht stellt. Der magnetische Nordpol, welchen Capitain Roß auf der Insel Melville wirklich erreichte, findet sich auf den Karten Fig. 563, Fig. 564 und Fig. 565. Der magnetische Südpol, dessen Lage nur aus dem Verlauf der magnetischen Curven auf der Südhälfte der Erde erschlossen werden konnte, findet sich auf der Karte Fig. 566.

Wäre der Erdmagnetismus regelmäßig vertheilt, so müßte der magnetische Aequator einen größten Kreis bilden, ähnlich wie die Ekliptik am Himmelsgewölbe. Aus Fig. 564 erkennt man den unregelmäßigen Verlauf des magnetischen Aequators und aus den Figuren 565 und 566 ergiebt sich, daß die magnetischen Pole der Erde keineswegs diametral einander gegenüberstehen.

Nachdem, was bereits im Paragraph 175 über die seculären Variationen des Erdmagnetismus gesagt wurde, ist klar, daß der Verlauf der magnetischen Curven sich allmälig ändern müsse, und in der That zeigen die magnetischen Karten vom Anfang des vorigen Jahrhunderts ein ganz anderes Bild als die obigen Karten, welche für das Jahr 1835 construirt sind, also auch schon nicht mehr ganz den gegenwärtigen Zustand darstellen. Aus der allmäligen Veränderung in der Lage der magnetischen Curven ergiebt sich auch, daß die magnetischen Pole der Erde nach und nach ihre Stelle ändern müssen.

Das Nordlicht. Wir haben bereits in Paragraph 175 gesehen, daß 318
unter den Ursachen, welche unregelmäßige Schwankungen, Störungen der Magnetnadel bewirken, das Nordlicht eine wesentliche Stelle einnimmt. In unseren Gegenden ist das Nordlicht eine ziemlich seltene Erscheinung; in höheren Breiten aber, in den nördlichen Theilen von Europa, Asien und Amerika, sind die Nordlichter nicht allein weit häufiger, sondern auch weit prächtiger.

Fig. 567 (a. f. S.) stellt das Nordlicht dar, wie es bei uns gewöhnlich wahrgenommen wird, wenn es seine volle Ausbildung erreicht; ein aus lichten Streifen gebildeter Bogen, dessen Ränder verwaschen erscheinen und dessen Enden auf dem Horizont aufzustehen scheinen.

Der Gipfel dieses Bogens steht immer nahe in der Richtung des magnetischen Meridians.

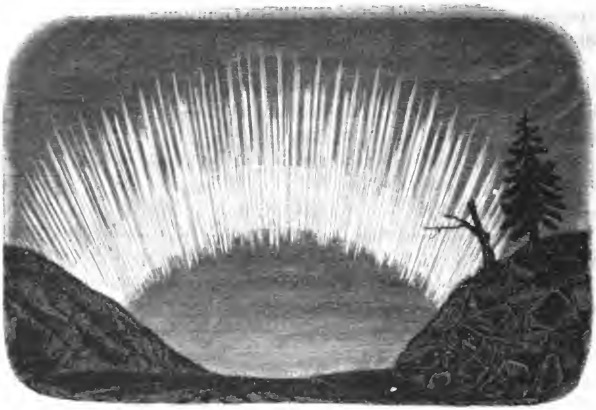
In seinem Glanze zeigt der Bogen eine undulatorische Bewegung, d. h. der Glanz der Strahlen wächst der Reihe nach von einem Fuß zum anderen und zwar meist in der Richtung von West nach Ost.

In höheren Breiten steigen die Nordlichter schon hoch über den Horizont herauf, ja sie erreichen das Zenith und gehen selbst über dasselbe hinaus.

Digitized by Google

Manchmal verläßt dann einer der Füße, oder auch beide, den Horizont, und es bildet sich dann die sogenannte Krone. Im hohen Norden erscheint der Lichtbogen

Fig. 567.



oft als ein langes Strahlenband, Fig. 568, welches sich windet und biegt wie eine Schlange oder eine vom Winde bewegte Fahne; die Strahlen, welche nun eine große Lichtstärke erlangt haben, färben sich an der Basis roth, in der Mitte grün, während der übrige Theil ein blaßgelbes Licht behält.

Fig. 568.

Digitized by Google

Die Krone verschwindet in der Regel schon nach einigen Minuten.

Nicht immer bildet sich das Nordlicht vollständig, sondern oft nur theilweise aus, indem bald die Krone, bald die Bogen unvollständig sind und die Regelmäßigkeit der Erscheinung in mannigfacher Weise durch Wolken gestört wird. Oft bemerkt man gegen Norden hin die Spuren eines Nordlichts als einen ungewöhnlichen verschwommenen Lichtschimmer.

Aehnliche Erscheinungen sind von den Seefahrern auch in den Polargegenden der südlichen Hemisphäre beobachtet worden; man kann sie Südlichter nennen und das Phänomen der beiden Hemisphären unter dem Namen des Polarlichtes zusammenfassen.

Der Umstand, daß die Nordlichter stets in der Richtung des magnetischen Meridians gesehen werden, daß bei ihrem Erscheinen die Declinationsnadel in ungewöhnlich starkes Schwanken geräth, deutet darauf hin, daß das Nordlicht mit dem Erdmagnetismus und den um die Erde kreisenden elektrischen Strömen in Beziehung steht; weshalb sie denn auch Humboldt sehr treffend als magnetische Gewitter bezeichnete. Bis jetzt ist es aber noch nicht gelungen, eine genügende Theorie zur Erklärung des Nordlichts aufzustellen.

Digitized by Google

Anhang.

Verhältniß des neueren französischen Maaßsystems zu anderen Maaßsystemen.

In diesem Werke sind fast durchgängig alle Maaßangaben in dem neufranzösischen Systeme ausgedrückt, theils weil nach demselben eine so außerordentlich einfache Beziehung zwischen Maaß und Gewicht besteht, welche man bei anderen Maaßsystemen nicht findet, eine Einfachheit, welche manche den Gang der physikalischen Betrachtung sonst sehr störenden Rechnungsoperationen unnöthig macht; theils aber auch, weil bei naturwissenschaftlichen Untersuchungen das metrische Maaß- und Gewichtssystem fast allgemein angenommen ist, so daß sich fast alle Physiker und Chemiker desselben bedienen, und es gewiß nicht wohl räthlich ist, die nach dem metrischen Systeme gemachten Messungen und Wägungen auf andere Maaße zu reduciren.

Nun aber sind doch Manche mit dem metrischen Systeme nicht genug bekannt, um in den nach demselben gemachten Maaßangaben sich leicht zurechtzufinden. Um eine solche Orientirung zu erleichtern, soll die folgende Vergleichung der neufranzösischen Maaße und Gewichte mit anderen dienen.

Die wichtigsten Notizen über das Metermaß sind schon früher gegeben worden. Es wurde dort bereits mitgetheilt, auf welche Weise die Länge des Meters ermittelt wurde, und daß

$$1^{\text{Meter}} = 10^{\text{Decimeter}} = 100^{\text{Centimeter}} = 1000^{\text{Millimeter}}.$$

Die folgende Tabelle dient zur leichten Reduction von Längenangaben nach metrischem Systeme in altfranzösisches und rheinländisches Maaß.

Digitized by Google

Tabelle zur Verwandlung des Metermaaßes in rheinländisches und altfranzösisches Maaß.

Metermaaß.	Rheinländisches oder preußisches Maaß.	Altfranzösisches Maaß.
1mm	0,459‴	0,443‴
2	0,918	0,887
3	1,376	1,330
4	1,835	1,773
5	2,294	2,216
6	2,753	2,660
7	3,212	3,103
8	3,671	3,546
9	4,129	3,990
1cm	4,588‴	4,433‴
2	9,176	8,866
3	1″. 1,764	1″. 1,299
4	1 . 6,353	1 . 5,732
5	1 . 10,941	1 . 10,165
6	2 . 3,529	2 . 2,604
7	2 . 8,117	2 . 7,031
8	3 . 0,705	2 . 11,462
9	3 . 5,294	3 . 3,897
1dm	3″. 9,882‴	3″. 8,330‴
2	7 . 7,763	7 . 4,659
3	11 . 5,645	11 . 0,989
4	1′. 3 . 3,527	1′. 2 . 9,318
5	1 . 7 . 1,408	1 . 6 . 5,648
6	1 . 10 . 11,290	1 . 10 . 2,038
7	2 . 2 . 9,172	2 . 1 . 10,307
8	2 . 6 . 7,054	2 . 5 . 6,637
9	2 . 10 . 4,935	2 . 9 . 2,966
1m	3′. 2″. 2,817‴	3′. 0″. 11,296‴
2	6 . 4 . 5,634	6 . 1 . 10,592
3	9 . 6 . 8,451	9 . 2 . 9,888
4	12 . 8 . 11,268	12 . 3 . 9,184
5	15 . 11 . 2,085	15 . 4 . 8,480
6	19 . 1 . 4,902	18 . 5 . 7,776
7	22 . 3 . 7,719	21 . 6 . 7,072
8	25 . 5 . 10,536	24 . 7 . 6,368
9	28 . 8 . 1,353	27 . 8 . 5,664
10	31 . 10 . 4,170	30 . 9 . 4,950

Digitized by Google

Aus den Verhältnissen der Längenmaaße ergeben sich die Verhältnisse der entsprechenden Flächen- und Körpermaaße.

Neufranz.		Rheinl.	Altfranz.
1 Quadratmeter .	10,05187	Quadratfuß	9,476817 Quadratfuß
1 Quadratdecimeter	14,619	Quadratzoll	13,947 Quadratzoll
1 Quadratcentimeter	21,051	Quadratlinien	18,650 Quadratlinien
1 Kubikmeter . .	32,34587	Kubikfuß	29,17385 Kubikfuß
1 Kubikdecimeter .	55,894	Kubikzoll	50,412 Kubikzoll
1 Kubikcentimeter	96,584	Kubiklinien	87,112 Kubiklinien.

Das Hohlmaaß sowohl wie das Gewicht ist bei dem neufranzösischen Maaßsystem unmittelbar vom Körpermaaße abgeleitet, was bei den älteren Maaßsystemen nicht der Fall ist; und darin liegt ganz besonders ein großer Vorzug des metrischen Systems, welchen jedoch auch einige andere neuere Maaß- und Gewichtssysteme bieten, welche, wie das badische und darmstädtische, auf das Metersystem basirt sind.

Die Einheit des französischen Hohlmaaßes ist der Raum, welchen 1 Cubikdecimeter ausfüllt und welcher den Namen Litre führt.

1 Litre = 0,873386 preuß. Quart.

Ebenso ist, wie schon früher bemerkt wurde, die Einheit des Gewichtes beim metrischen Maaßsysteme von dem Längenmaaße abgeleitet. 1 Gramm ist das Gewicht eines Cubikcentimeters Wasser.

Da nun 1 Cubikdecimeter = 1000 Cubikcentimeter, so ist klar, daß 1 Litre Wasser 1000 Gramm oder, was dasselbe ist, 1 Kilogramm wiegt.

Die Unterabtheilungen des Grammes sind:

das Decigramm = $^1/_{10}$ gr.
das Centigramm = $^1/_{100}$ gr.
das Milligramm = $^1/_{1000}$ gr.

In Baden, dem Großherzogthum Hessen und der Schweiz ist schon seit längerer Zeit das metrische Pfund ($^1/_2$ Kilogramm oder 500 Gramm) als Landesgewicht angenommen. In neuerer Zeit ist diese Gewichtseinheit auch in Preußen, Hannover, Braunschweig, Oldenburg, Schaumburg-Lippe, Hamburg und Bremen eingeführt worden.

100 metrische Pfund machen 1 Centner.

Die Pfunde anderer Länder weichen bald mehr bald weniger von diesen metrischen Pfunden ab.

So ist z. B. das bayrische Pfund	560	Gramm
englische Handelspfund	453	„
östreichische Handelspfund	560,012	„
altpreußische Handelspfund	467,711	„

Digitized by Google

Das Pfund ist meistens auf gleiche Weise eingetheilt; es ist nämlich:

1 Pfund = 32 Loth,
1 Loth = 4 Quentchen,
1 Quentchen = 60 Gran;

1 Handelspfund hat also 7680 Gran.

In den oben genannten norddeutschen Staaten ist das metrische Pfund eingetheilt in:

10 Neuloth, das Neuloth = 50 Gramm
1 Neuloth in 10 Quint, 1 Quint = 5 Gramm
1 Quint = 10 Halbgramm.

Das Medicinalpfund ist durchschnittlich kleiner als das Handelspfund; das östreichische und preußische Medicinalpfund ist gerade $^3/_4$ des entsprechenden Handelspfundes. Die Unterabtheilungen des Medicinalpfundes sind:

Pfund.	Unze.	Drachme.	Scrupel.	Gran.
1	12 (1 Unze = 2 Loth)	96	288	5760
	1	8	24	480
		1	3	60
			1	20

Zur leichteren Reduction des Grammgewichtes auf das alte preußische (kölnische) Gewicht dient folgende Tabelle:

1	Gramm							16,422 Gran
2					1	Scrupel		12,844
3					2			9,266
4				1	Drachme	0		5,688
5				1		1		2,110
6				1		1		18,532
7				1		2		14,954
8				2		0		11,376
9				2		1		7,798
10				2		2		4,22
100			3	Unzen	3		1	2,2
1000		2	Pf.	2	„	2	0	2

Digitized by Google

Tabelle

der

specifischen Gewichte einiger festen Körper bei 0 Grad.

Platin	gemünzt	22, 00
	gewalzt	22,069
	geschmolzen	20,857
Gold	gemünzt	19,325
	geschmolzen	19,253
Iridium		18,600
Wolfram		17,600
Blei, geschmolzen		11,352
Palladium		11,300
Silber		10,474
Wismuth		9,822
Kupfer	gehämmert	8,878
	gegossen	7,788
	zu Draht gezogen	8,780
Kadmium		8,694
Molybdän		8,611
Messing		8,395
Arsenik		8,308
Nickel		8,279
Uran		8,100
Stahl		7,816
Kobalt		7,812
Eisen	geschmiedet	7,788
	gegossen	7,207
Zinn		7,291
Antimon		6,712
Tellur		6,115
Chrom		5,900
Jod		4,948
Schwerspath		4,426
Selen		4,320
Diamant		3,520
Flintglas		3,78 bis 3,20
Flußspath		3,15
Aluminium		2,67
Bouteillenglas		2,600
Spiegelglas		2,370
Turmalin (grün)		3,155
Marmor		2,837
Smaragd		2,775
Bergkrystall		2,683
Porzellan		2,49 bis 2,14
Gyps (krystallisirt)		2,311
Schwefel (natürlich)		2,033
Elfenbein		1,917
Alabaster		1,874
Anthracit		1,800
Phosphor		1,770
Bernstein		1,078
Ebenholz		1,226
Eichenholz (alt)		1,170
Burbaum		1,330
Mahagonyholz		1,060
Wachs, weißes		0,969
Eis		0,950
Natrium		0,972
Kalium		0,865
Lithium		0,590
Ahornholz	frisch	0,904
	trocken	0,659
Buchenholz	frisch	0.982
	trocken	0,590
Edeltanne	frisch	0,890
	trocken	0,450
Erlenholz	frisch	0,857
	trocken	0,500
Eschenholz	frisch	0,904
	trocken	0,644
Hainbuchenholz	frisch	0,945
	trocken	0,769
Lindenholz	frisch	0,817
	trocken	0,439
Nußbaumholz		0,677
Cypressenholz		0,598
Cedernholz		0,561
Pappelholz		0,383
Kork		0,240

Digitized by Google

Specifisches Gewicht einiger Flüssigkeiten

(bei 0°, wo nichts weiter bemerkt ist).

Destillirtes Wasser	1,000
Quecksilber	13,598
Brom	2,966
Schwefelsäure (englische)	1,848
Verdünnte Schwefelsäure nach Delezenne bei 15° C.:	
10 Proc. Säure	1,066
20 „ „	1,138
30 „ „	1,215
40 „ „	1,297
50 „ „	1,387
60 „ „	1,486
70 „ „	1,595
80 „ „	1,709
90 „ „	1,805
100 „ „	1,848
Verdünnte Salpetersäure:	
10 Proc Säure	1,054
20 „ „	1,111
30 „	1,171
40 „ „	1,234
50 Proc. Säure	1,295
60 „ „	1,348
70 „ „	1,398
80 „ „	1,438
90 „ „	1,473
100 „ „	1,500
Schwefelkohlenstoff	1,272
Glycerin	1,260
Milch	1,030
Meerwasser	1,026
Wein: Malaga-	1,022
„ Rhein-	0,999
Oel: Citronenöl	0,852
„ Leinöl	0,953
„ Mohnöl	0,929
„ Olivenöl	0,915
„ Terpentinöl	0,872
Benzol	0,868
Alkohol, absoluter	0,793
Schwefeläther	0,715
Valyl (C_5H_9)	0,694

Specifisches Gewicht einiger Gase

(bei 0° und 760^{mm} Barometerstand).

Atmosphärische Luft	0,001299
Sauerstoff	0,001432
Stickstoff	0,001267
Wasserstoff	0,000089
Chlor	0,00321
Kohlensäure	0,00198
Stickoxydulgas	0,00197
Leuchtgas	0,00082

Digitized by Google

Aufgaben.

Zu §. 9

1. Man hat gefunden, daß 6 Kubikcentimeter Kupfer 53 Gramm wiegen, was ist das specifische Gewicht des Kupfers?

2. Ein Marmorblock wiegt 59 Kilogramm, wie viel Kubikdecimeter beträgt sein Rauminhalt, wenn das specifische Gewicht des Marmors gleich 2,84 ist?

3. Wie viel wiegt eine Eisenmasse von 6,8 Kubikdecimetern Inhalt, wenn das specifische Gewicht des Eisens 7,8 ist?

4. Eine Bleikugel soll 500 Gramm wiegen, wie groß muß ihr Durchmesser sein, wenn das specifische Gewicht des Bleies 11,3 ist? (Stereometrie S. 109.)

5. Welchen Raum (in Kubikcentimetern ausgedrückt) nehmen 6 Kilogramm Quecksilber (specif. Gewicht 13,598) ein?

6. Was wiegen 100 Liter absoluten Weingeistes (specif. Gewicht 0,793)?

7. Welchen Raum nehmen 500 Gramm gasförmiger Kohlensäure ein, wenn das specifische Gewicht derselben 0,00198 ist?

8. Welchen Raum nehmen 500 Gramm Wasserstoffgas ein, wenn das specifische Gewicht desselben 0,0000894 ist?

9. In ein verticalstehendes Gefäß von 1 Decimeter innerem Durchmesser werden 12 Kilogramm Quecksilber gegossen. Bis zu welcher Höhe wird es den Cylinder füllen?

10. Ein 21 Kilogramm schwerer cylindrischer Stab von Eisen ist 2,5 Meter lang, wie groß ist sein Durchmesser?

11. Ein Quecksilbersäulchen, welches in einer Capillarröhre eine Länge von 137 Millimeter einnimmt, wiegt 1 Gramm. Wie groß ist der Durchmesser des Röhrchens?

12. Welches ist der Preis einer gußeisernen Röhrenleitung von 2134 Meter Länge, 0,245 Meter innerem Durchmesser und 0,014 Meter Wanddicke, wenn das specifische Gewicht des Gußeisens 7,2 ist und 1 Kilogramm desselben 6 Kreuzer ($1\frac{1}{2}$ Silbergroschen) kostet?

Zu §. 16

Die folgenden 6 Aufgaben sind durch geometrische Construction zu lösen. Zur Ausführung dieser Construction kann man sich in Ermangelung anderer der Maßstäbe und des Transporteurs bedienen, welche meinen Elementen der ebenen Geometrie und Stereometrie (Braunschweig 1859) beigegeben sind.

13. Auf einen materiellen Punkt wirken zwei Kräfte 8 und 5, welche einen Winkel von 45° mit einander bilden, wie groß ist ihre Resultirende und welchen Winkel macht sie mit der kleineren der beiden Seitenkräfte?

Digitized by Google

14. Die Resultirende zweier auf einen Punkt wirkender Kräfte 5 und 7 ist gleich 9; welchen Winkel machen die Seitenkräfte mit einander?

15. Unter welchem Winkel müssen die Seitenkräfte 5 und 7 zusammenwirken, wenn ihre Resultirende gleich 4 sein soll?

16. Jede der beiden Seitenkräfte sei gleich 5, der Winkel, welchen sie mit einander machen, sei 63°; wie groß ist die Resultirende?

17. Jede der beiden Seitenkräfte sei 5; unter welchem Winkel müssen sie zusammenwirken, wenn ihre Resultirende gleich 8, unter welchem Winkel, wenn die Resultirende gleich 2 sein soll?

18. Wie groß müssen zwei gleiche Seitenkräfte sein, deren Resultirende gleich 8 sein soll, wenn sie unter einem Winkel von 50° auf einen materiellen Punkt wirken?

Ueber die Berechnung dieser Aufgaben siehe Supplementband Seite 9.

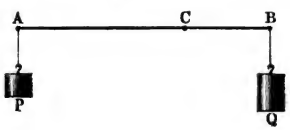
19. Mit welcher Kraft muß an dem Seil bei a gezogen werden, um mit Hülfe des Flaschenzuges Fig. 13 auf Seite 22 eine Last von 5 Centnern zu heben? Zu §. 17

20. Mit welcher Kraft muß an dem freien Seilende des Flaschenzuges Fig. 13 a auf Seite 22 gezogen werden, um mit Hülfe desselben einen 7 Meter langen, 2 Decimeter breiten und 3 Decimeter hohen Balken von Tannenholz zu heben?

(Das specifische Gewicht des trocknen Tannenholzes findet man in der Tabelle auf Seite 586.)

21. An einem mathematischen Hebel, Fig. 569, dessen Stützpunkt in C ist, Zu §. 18 sind in A und B die Gewichte P und Q angehängt. Wenn nun $P = 3$ Pfund 6 Loth, $AC = 7{,}3$ Zoll und $CB = 2{,}7$ Zoll ist, wie groß muß Q sein, wenn Gleichgewicht stattfinden soll?

Fig. 569.

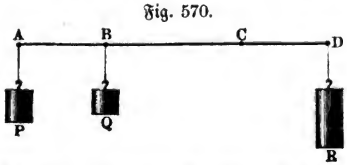


22. Wie groß ist in dem eben betrachteten Falle das statische Moment einer jeden der beiden Kräfte.

23. Das an dem Hebelarm $AC = 53$ Centimeter angehängte Gewicht P sei 134 Gramm. Wie groß muß der Hebelarm BC sein, wenn für eine in B angehängte Last von 250 Grammen Gleichgewicht stattfinden soll?

24. An den Hebelarmen von 18 und 11 Centimetern hängen links vom Unterstützungspunkt C (Fig. 570) eines mathematischen Hebels die Kräfte $P = 93$ und $Q = 64$. Welches ist die Summe der statischen Momente dieser Kräfte und welches Gewicht R muß man auf der anderen Seite von C am Hebelarm 7 anhängen, um ihnen das Gleichgewicht zu halten?

Fig. 570.



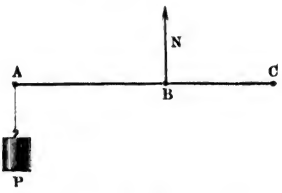
Digitized by Google

25. An der Pumpe Fig. 115 Seite 98 sei die Länge des Hebelarms, an welchem die Kolbenstange angehängt ist, 7 Zoll, der Hebelarm, an welchem die Hand des Arbeiters angreift, sei 33 Zoll; mit welcher Kraft wird der Kolben gehoben, wenn der Arbeiter den Hebel mit einer Kraft von 25 Pfund niederdrückt?

Zu §. 19

26. An dem einarmigen Hebel Fig. 571 ist in A ein Gewicht von 520 Gramm angehängt, während in B eine nach oben gerichtete Kraft N zieht. Wie groß muß N sein, wenn $AC = 42$ Centimeter und BC gleich 18 Centimeter ist?

Fig. 571.

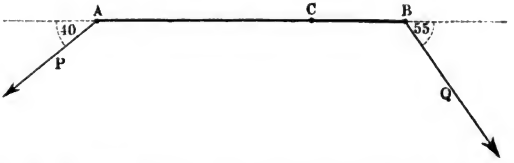


27. An der zur hydraulischen Presse gehörigen Druckpumpe, Fig. 66, Seite 62 drückt der Arbeiter den einarmigen Hebel bei l an einem Hebelarm von 9 Decimeter angreifend mit einer Kraft von 45 Pfund nieder. Mit welcher Kraft wird der Kolben s niedergedrückt, wenn derselbe an einem Hebelarm von 1,8 Decimetern angehängt ist?

Zu §. 20

28. An dem geradlinigen mathematischen Hebel AB, Fig. 572, dessen

Fig. 572.



Drehpunkt C um 3 Centimeter von B und um 7 Centimeter von A entfernt ist, greift bei B eine Kraft Q von 5 Pfund an, deren Richtung mit der Richtung des Hebels einen Winkel von 55 Grad macht. Wie groß muß eine bei A angreifende Kraft P sein, deren Richtung einen Winkel von 40° mit der Verlängerung des Hebels macht, wenn sie der Kraft Q das Gleichgewicht halten soll?

29. Wie groß ist für den eben betrachteten Fall das statische Moment einer jeden der beiden Kräfte P und Q?

30. Wenn Größe und Richtung der Kraft Q, sowie auch die Hebelarme AC und BC denselben Werth behalten wie im vorigen Beispiel, unter welchem Winkel müßte eine Kraft $P = 2$ Pfund in A angreifen, wenn sie der Kraft Q das Gleichgewicht halten soll?

Zu § 21

31. Die Länge des Kurbelarmes F am Haspel Fig. 27 Seite 30 sei gleich 15 Zoll, der Radius des Wellbaums sei 3,5 Zoll, welche Last kann mit

Digitized by Google

Hülfe dieses Haspels gehoben werden, wenn an jeder der beiden an der Umdrehungsaxe angebrachten Kurbeln ein Mann mit einer Kraft von 45 Pfund arbeitet?

32. Der Radius des Wellbaums D an dem zusammengesetzten Haspel Fig. 29 Seite 32 sei 5 Zoll, das Rad H habe 60, der in dasselbe eingreifende Trieb habe 12 Zähne; die Länge des Kurbelarms auf jeder Seite der Maschine betrage 12 Zoll.

Wenn nun an jeder dieser Kurbeln ein Mann arbeitet, welchen Druck muß jeder der beiden Arbeiter anwenden, wenn eine Last von 10 Centnern gehoben werden soll?

Zu §. 22

33. Welches Verhältniß findet statt zwischen Kraft und Last auf einer schiefen Ebene, welche einen Winkel von 5° mit der Horizontalen macht?

34. Welches Verhältniß findet statt zwischen Kraft und Last auf einer schiefen Ebene, deren Steigung 5, 10, 15 Procent beträgt (d. h. auf einer schiefen Ebene, welche bei einer Länge von 100 Fuß um 5, 10, 15 Fuß steigt)?

35. Wie viel Procent beträgt die Steigung der schiefen Ebene Fig. 30 Seite 33, wenn man mit einem bei P angehängten Gewichte von 150 Gramm das Herabrollen eines 1000 Gramm schweren Körpers a verhindern kann? Welchen Winkel macht für diesen Fall die schiefe Ebene mit der Horizontalen?

36. Ein Pferd kann in gewöhnlichem Schritte gehend eine Zugkraft von ungefähr 150 Pfund ausüben und mit dieser auf einer horizontalen Chaussee eine auf einen Wagen geladene Last von 20 Centnern fortziehen. Um auf diese Weise 40 Centner auf ebener Straße fortzuziehen, hätte man also 2 Pferde nöthig. Wie viel Pferde Vorspann müßte man nehmen, um diese Last auf einer Landstraße hinaufzuziehen, welche 3, 7, 12 Procent Steigung hat?

37. Auf einer horizontalen Eisenbahn kann ein Pferd eine Last von 400 Centnern fortziehen. Wie viel Pferde Vorspann sind nöthig, um diese Last auf einer Eisenbahn in die Höhe zu ziehen, welche 3 Procent Steigung hat?

Zu §. 23

38. Der Radius der Spindel an der Schraubenwinde Fig. 35 auf Seite 36 sei 1 Zoll, die Höhe eines Schraubenganges sei $\frac{1}{2}$ Zoll. Wie viel Procent beträgt die Steigung der Schraube? Mit welcher am Umfang der Spindel angreifenden Kraft muß dieselbe gedreht werden, wenn eine auf k liegende Last von 3 Centnern gehoben werden soll? Welche Kraft müßte zur Hebung der gleichen Last bei l an einem Hebelarm von 11 Zoll wirken?

39. Der Umfang der Spindel der Schraubenpresse Fig. 36 Seite 37 sei 80, die Höhe eines Schraubenganges sei 8 Millimeter. Mit welcher Kraft wird die Preßplatte $k\,k$ niedergedrückt, wenn bei l, an einem Hebelarm von 5 Decimetern, ein Druck von 15 Kilogramm ausgeübt wird?

Zu §. 24

40. Der Widerstand, welchen der Holzklotz Fig. 37 Seite 38 einem Zerreißen längs der Richtung seiner Axe entgegensetzt, sei gleich dem Druck von 200 Pfund. Mit welcher Kraft muß man gegen den Rücken des Keils drücken,

Digitized by Google

um das Holzstück zu zerreißen, wenn die Länge des Keils 8 Zoll, die Breite des Rückens aber 2 Zoll ist?

41. Der Keil einer Oelpresse ist 12 Zoll lang und sein Rücken ist 3 Zoll breit. Mit welcher Kraft wird der Oelkuchen zusammengepreßt, wenn gegen den Rücken des Keils eine Kraft von 100 Pfund wirkt?

Zu §. 31

42. Welches ist das Minimum des Gewichtes, welches man an einen Stab von Kiefernholz, welcher 3 Quadratcentimeter Querschnitt hat, anhängen muß, um ihn zu zerreißen?

43. Welches ist die Gränze der Tragkraft eines runden eisernen Stabes von 1,2 Centimeter Durchmesser?

44. Wie dick muß ein Messingdraht sein, wenn 500 Pfund die Gränze seiner Tragkraft sein soll?

45. Welches ist die Gränze der Tragkraft für ein schmiedeeisernes Rohr, welches 5 Centimeter äußeren und 4 Centimeter inneren Durchmesser hat?

46. Ein Seil von 3 Centimeter Durchmesser riß ab, als man das angehängte Gewicht allmälig bis auf 4000 Kilogramm vermehrt hatte; welches wäre demnach der Festigkeitsmodulus für dieses Seil?

47. Ein Balken von Eichenholz, 12 Centimeter breit, 20 Centimeter hoch, ist einerseits eingemauert und ragt aus der Mauer noch 1 Meter hervor. Welche Last Q müßte man mindestens an dem freien Ende anhängen, um den Balken abzubrechen?

48. Der Festigkeitsmodulus, d. h. das Gewicht, welches nöthig ist, um einen Stab abzureißen, dessen Querschnitt gleich ist der Flächeneinheit, ist natürlich eine relative Zahl, welche abhängt von der Wahl der Flächeneinheit und von der der Gewichtseinheit. Die Tabelle auf Seite 54 des Grundrisses giebt den Festigkeitsmodulus für Quadratcentimeter und Kilogramm. Wie groß ist der Festigkeitsmodulus der in jener Tabelle genannten Substanzen, wenn man den preußischen Quadratzoll (1 Zoll preuß. = 2,6 Centimeter) zur Flächeneinheit und das Pfund (zu 500 Gramm) zur Gewichtseinheit nimmt.

49. Ein 5 Zoll (preuß.) breiter, 1 Zoll hoher Balken von Kiefernholz ist an seinen beiden Enden eingemauert. Das zwischen beiden Mauern befindliche freie Stück des Balkens ist 18 Fuß lang. Welche Last müßte man mindestens auf der Mitte dieses Balkens auflegen, um ihn zu zerbrechen?

Zu §. 34

50. An einer hydraulischen Presse sei der Durchmesser des Pumpenkolbens 1 Zoll (also $r = 0{,}5$ Zoll), der Durchmesser des Druckkolbens sei 12 Zoll (also $R = 6$ Zoll). Es sei ferner $l = 8$ Zoll, $L = 36$ Zoll. Mit welcher Kraft D muß der Arbeiter drücken, damit der Druck K, durch welchen der große Kolben gehoben wird, gleich 40000 Pfund sei?

51. Wie groß ist für die oben angegebenen Dimensionen der hydraulischen Presse der Werth von K, wenn $D = 25$ Pfund ist?

52. Wie groß müßte bei übrigens unveränderten Dimensionen der hydraulischen Presse der Durchmesser des Pumpenkolbens sein, wenn der Arbeiter durch eine Kraft $D = 30$ Pfund einen Druck $K = 50000$ Pfund ausüben sollte?

Digitized by Google

53. Der Boden eines Wasserständers hat 6 Quadratdecimeter Oberfläche und befindet sich 7 Decimeter unter dem Wasserspiegel, welchen Druck hat der Boden auszuhalten? Zu §. 37 u. 38

54. Ein Glasgefäß, dessen Boden 3 Quadratzoll preußisch beträgt, ist 9 Zoll hoch mit Quecksilber gefüllt; welchen Druck hat der Boden auszuhalten?

55. In einer Röhrenleitung steht eine Wassersäule von 350 Fuß Höhe, wie groß ist der Druck, den jeder Quadratzoll der Wandfläche am unteren Ende der Röhrenleitung auszuhalten hat?

56. Ein cylindrisches, mit Wasser gefülltes Gefäß hat 6 Decimeter Durchmesser. Wie groß ist der Gesammtdruck, den ein ringförmiges Stück der Gefäßwand auszuhalten hat, welches 1 Decimeter hoch ist und dessen obere Gränze 5 Decimeter unter dem Wasserspiegel liegt?

57. Wie viel wird eine sechspfündige Kugel von Gußeisen noch wiegen, wenn dieselbe in Wasser eingetaucht ist? Zu §. 40

58. Wie weit wird ein auf Wasser schwimmender Würfel von trocknem Tannenholz noch aus dem Wasser hervorragen?

59. Mit welcher Kraft wird ein ganz in Wasser untergetauchtes Stück Kork aufwärts getrieben, wenn es in Luft gewogen 73 Gramm wiegt?

60. Ein Stück mit gediegenem Silber durchwachsenen Schwerspaths wiegt 1500 Gramm. In Wasser eingetaucht, beträgt sein Gewichtsverlust 230 Gramm. Wie viel gediegen Silber ist in dem Stück enthalten?

61. Wie schwer wird eine in Wasser untergetauchte Kugel von 2 Zoll Durchmesser wiegen, deren Masse 3 Gewichtstheile Blei auf 2 Gewichtstheile Zinn enthält?

NB. Die zur Lösung dieser Aufgaben nöthigen specifischen Gewichte findet man in der Tabelle auf Seite 586.

62. Auf den Teller des Nicholson'schen Aräometers ist ein Stück Aluminium und außerdem so viel Schrot aufgelegt worden, daß das Instrument bis zur Marke einsinkt. Statt des Aluminiumstückes mußte man 6,85 Gramm auflegen, um ein gleiches Einsinken zu bewirken. Zu §. 42

Nachdem jene 6,85 Gramm entfernt worden und das Aluminiumstück in das Sieb *C* gelegt worden war, mußte man auf den Teller noch 2,57 Gramm auflegen, um das Instrument wieder bis zur Marke einsinken zu machen. Wie groß ist das specifische Gewicht des Aluminiums?

63. Ein für schwerere Flüssigkeiten bestimmtes Volumeter sinkt in drei verschiedenen Mischungen von Wasser und Schwefelsäure ein bis zu den Theilstrichen 72, 85 und 93. Welches ist das specifische Gewicht dieser drei Mischungen? Zu §. 43

64. Ein für leichtere Flüssigkeiten bestimmtes Volumeter sinkt in drei verschiedenen Mischungen von Wasser und Weingeist ein bis zu den Theilstrichen 108, 117 und 128. Welches ist das specifische Gewicht dieser Mischungen?

65. An welche Stelle der Volumeterscala fallen die Theilstriche der Densimeterscala, welche den specifischen Gewichten 0,78, 0,93, 1,14 und 1,68 entsprechen?

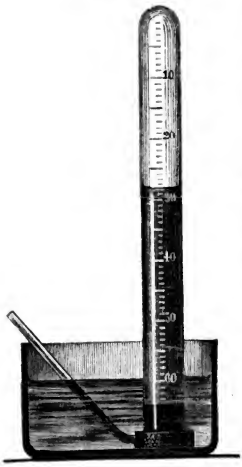
Digitized by Google

Zu §. 58 66. Eine gegebene Menge Leuchtgas nimmt beim normalen Barometerstande von 760^{mm} ein Volumen von 5240 Kubikfuß ein; wie groß wird das Volumen dieser Gasmenge sein, wenn der Barometerstand auf 740^{mm} fällt? wie groß, wenn das Barometer auf 768^{mm} steigt?

67. Der Strom einer galvanischen Säule hat, durch ein Voltameter geleitet, in drei Minuten 258 Kubikcentimeter Knallgas bei einem Barometerstande von 736^{mm} geliefert; welchen Raum würde diese Gasmenge bei dem normalen Barometerstande von 760^{mm} einnehmen?

68. In einem Glasrohre (Fig. 573) befindet sich, durch Quecksilber abgesperrt, eine Gasmenge, welche das Volumen von 153 Kubikcentimetern einnimmt. Der Barometerstand beträgt gerade 742^{mm}; der Gipfel der Quecksilbersäule im Rohre steht 85^{mm} über dem Quecksilberspiegel im Gefäß; wie groß würde das Volumen dieser Gasmenge unter einem Drucke von 760^{mm} sein?

Fig. 573.



(Bezeichnen wir allgemein mit b den gerade stattfindenden Barometerstand, mit h die Höhe der Quecksilbersäule im Rohre, so ist der Druck, welchem das Gas im oberen Theile der Röhre ausgesetzt ist, offenbar $b - h$; im obigen Beispiele wäre also der Druck, welchem das Gas ausgesetzt ist, $742 - 85 = 657$ Millimeter.)

69. In einem Gasometer sind 1800 Kubikzoll Sauerstoffgas eingeschlossen und durch eine Wassersäule von 21 Zoll (Pariser) comprimirt. Der Barometerstand ist gleich 27 Zoll 9 Linien. Welches Volumen würde obige Gasmasse einnehmen, wenn sie nur dem normalen Barometerstande (28 Zoll Quecksilberdruck) ausgesetzt wäre? (Zunächst muß berechnet werden, wie hoch eine Quecksilbersäule sein muß, wenn sie einer Wassersäule von 21 Zoll Höhe das Gleichgewicht halten soll.)

Zu §. 61 70. Die Sperrungsflüssigkeit in dem offenen Manometer, Fig. 138 Seite 113, sei Wasser, dessen Niveau im Schenkel bc sich um 3 Centimeter tiefer stellt als im offenen Schenkel cd, wenn das Manometer bei a mit einem Gasleitungsrohre in Verbindung gesetzt wird. In welchem Verhältniß steht der Druck, welchen das Gas in der Röhrenleitung auszuhalten hat, zu dem äußeren Luftdruck, wenn der Barometerstand 745 Millimeter beträgt?

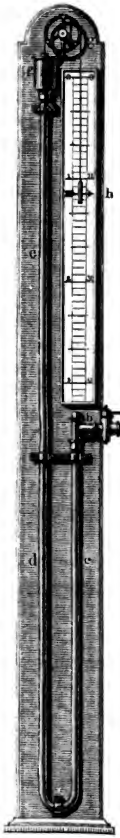
71. Die gleiche Aufgabe zu lösen für den Fall, daß die Sperrungsflüssigkeit Quecksilber ist, daß das Quecksilber im offenen Schenkel des Manometers 23 Millimeter höher steht als im anderen und daß der Barometerstand 753 Millimeter beträgt.

72. Um die Spannkraft der Dämpfe in Dampfkesseln zu messen, hat

Digitized by Google

man die Hebermanometer auch in größerem Maßstab aus eisernen Röhren construirt, Fig. 574. Der kürzere Schenkel c ist durch das Rohr a mit dem Innern des Dampfkessels verbunden. Wie groß ist die Spannkraft des Dampfes im Kessel, wenn der Gipfel der Quecksilbersäule in dem oben offenen Schenkel def um 1,7 Meter höher steht als im Schenkel c?

Fig. 574.



73. Wie groß ist die Spannkraft des Dampfes in dem Dampfkessel, auf welchen das Compressionsmanometer Fig. 140 Seite 115 aufgeschraubt ist, wenn die Luft in dem 24 Centimeter langen Compressionsrohre auf $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_6$ ihres ursprünglichen Volumens zusammengepreßt ist?

74. In welcher Höhe über dem unteren Ende des Compressionsrohres Fig 140 Seite 115 müssen die Theilstriche 2, 4, 8 angebracht sein, wenn sie eine Spannkraft des Dampfes von 2, 4, 8 Atmosphären anzeigen sollen?

75. Die untere Fläche des Ventils Fig. 141 auf Seite 115, gegen welche der Dampf drückt, sei gleich 2 Quadratcentimetern; der Druck, welchen der unbelastete Hebel durch sein eignes Gewicht auf das Ventil bei D ausübt, betrage 600 Gramm. Wie groß ist die Spannkraft des Dampfes für den Fall, daß das Abblasen eintritt, wenn ein Gewicht P von 800 Gramm so angehängt wird, daß der Hebelarm, an welchem es wirkt, 8mal so groß ist als der Hebelarm FD?

76. Ein Ballon von Goldschlägerhaut hat 5 Kubikdecimeter Inhalt und wiegt 3 Gramm. Wie groß ist seine Steigkraft (der Auftrieb), wenn er mit Wasserstoffgas gefüllt ist? Zu §. 65

NB. Das specifische Gewicht der atmosphärischen Luft und des Wasserstoffgases findet sich auf Seite 587.

77. Wie groß ist die Steigkraft eines mit Wasserstoffgas gefüllten Ballons von 500 Kubikmeter Inhalt, wenn das Gewicht der Hülle mit allem, was daran hängt, 450 Kilogramm beträgt?

78. Würde derselbe Ballon mit derselben Last noch steigen, wenn er mit Leuchtgas gefüllt wäre?

79. Wie groß ist die Steigkraft eines mit Leuchtgas gefüllten Ballons von 1000 Kubikmeter Inhalt, wenn die Hülle mit allem, was daranhängt, 250 Kilogramm wiegt?

80. Um die Tiefe eines Brunnens zu ermitteln, hat man einen Stein hinabfallen lassen, und von dem Moment, wo man ihn losließ, bis zu dem Moment, in welchem man ihn ins Wasser fallen hörte, $3^1/_2$ Secunden gezählt; wie tief ist der Brunnen (ohne den Luftwiderstand und die Fortpflanzungsdauer des Schalls zu berücksichtigen)? Zu §. 70 und 71

Digitized by Google

81. Wie viel Zeit würde ein Körper nöthig haben, um eine Höhe von 10000 Fuß (ohne Luftwiderstand) zu durchfallen?

82. Mit welcher Geschwindigkeit kommt eine Bleikugel auf dem Boden an, welche 10, 20, 500 Fuß hoch herabgefallen ist?

Zu §. 73 83. Wenn ein schwerer Körper mit einer Geschwindigkeit von 10, 50, 200, 1000 Fuß vertical in die Höhe geworfen wird, so ist die Frage, in wie viel Secunden er den Gipfel seiner Bahn erreichen und wie hoch er steigen wird?

Zu §. 75 84. Wie groß ist der Fallraum des Mondes gegen die Erde in 1 Secunde (nach Gl. 1 S. 131)?

85. Wie groß ist die beschleunigende Kraft, welche den Mond gegen die Erde treibt (nach Gl. 2 S. 132)?

Um diese beiden Aufgaben auflösen zu können, sind noch folgende Zahlenangaben nöthig: Die Umlaufszeit t des Mondes beträgt 27 Tage 7 Stunden 43 Minuten oder 2 335 380 Secunden. Der Umfang der Erde beträgt 40 000 000 Meter; da aber der Radius der Mondsbahn 60mal so groß ist als der Erdhalbmesser, so ist der Umfang der Mondsbahn $40\,000\,000 \times 60$ Meter.

86. Eine Bleikugel wird an einem 3 Fuß langen Faden so im Kreise herumgeschwungen, daß sie zu jeder Umdrehung $^1/_2$ Secunde Zeit bedarf. Wie groß ist in diesem Fall der Werth von v?

87. Wie groß ist der Werth von v für einen Punkt am Umfange eines Schwungrades, welches einen Halbmesser von 6 Fuß hat und 4 Umdrehungen in 3 Secunden macht?

88. Wie groß ist die Beschleunigung der Schwungkraft für einen auf dem Erdäquator befindlichen Punkt in Folge der täglichen Umdrehung der Erde?

89. Wie schnell müßte sich die Erde um ihre Axe drehen, wenn am Aequator die Centrifugalkraft der Schwerkraft gleich sein sollte?

Zu §. 78 90. Borda fand, daß ein einfaches Pendel, dessen Länge 144 Pariser Zoll betrug, 1818 Schwingungen in der Minute machte. Wie groß ergiebt sich nach diesem Versuch der Werth von g (die beschleunigende Kraft der Schwere) in Pariser Fußen ausgedrückt?

91. Wie groß ist dem Borda'schen Versuch zu Folge die Länge des Secundenpendels?

92. Wie groß ist die Schwingungsdauer eines 100 Fuß langen einfachen Pendels?

93. Wie viel Meter müßte den in §. 78 angegebenen Zahlen zufolge ein einfaches Pendel lang sein, wenn seine Schwingungsdauer 5 Secunden betragen soll?

94. Wie lang ist ein einfaches Pendel, welches halbe Secunden schlägt?

95. Ein im Schiff der Universitätskirche zu Freiburg aufgehängtes Foucault'sches Pendel macht 14 Schwingungen in der Minute, wie lang ist dasselbe?

96. Auf der Oberfläche des Mondes ist der Fallraum der ersten Secunde $\left(\text{also } \frac{g}{2}\right)$ gleich 2,4, auf dem Jupiter ist er 38,5 Pariser Fuß; wie

Digitized by Google

groß würde die Schwingungsdauer des Pariser Secundenpendels auf dem Mond und auf dem Jupiter sein?

97. Eine 6pfündige Kanonenkugel verläßt das Rohr mit einer Geschwindigkeit von 1200 Fuß, wie groß ist ihre lebendige Kraft? Zu §. 82

98. Wie groß ist die lebendige Kraft eines $^1/_4$ Pfund schweren Hammers, welcher mit einer Geschwindigkeit von 25 Fuß auf den Kopf des Nagels aufschlägt?

99. Wie groß ist der Widerstand des Holzes, wenn der Nagel in sechs Schlägen 1 Zoll tief eindringt?

100. Wie tief dringt der Nagel mit einem Schlage ein, wenn der Widerstand des Holzes einem Druck von 12 Pfund gleichgesetzt werden kann?

101. Wie groß ist (in Meterkilogrammen ausgedrückt) die lebendige Kraft, mit welcher ein Gewicht von 50 Kilogramm auf den Boden aufschlägt, wenn es 7 Meter hoch frei herabgefallen ist ($g = 9{,}088$)?

102. Nehmen wir an, das Gewicht von 50 Kilogrammen sei an einem um eine Welle geschlungenen Seile befestigt, so daß durch das Niedersinken des Gewichtes die Welle umgedreht wird. Der Umdrehung der Welle wirkt aber irgend ein Widerstand, etwa Reibung, entgegen, weshalb der Fall des Gewichtes verzögert wird. Wenn nun das Gewicht, nachdem es 7 Meter herabgesunken ist, eine Geschwindigkeit von 5 Metern erlangt hat, wie groß ist die lebendige Kraft, die es noch besitzt?

103. Da nun aber das unter den angegebenen Verhältnissen 7 Meter hoch herabgefallene Gewicht nicht die volle lebendige Kraft besitzt, welche einer Fallhöhe von 7 Metern entspricht (Aufgabe 101), wie viel lebendige Kraft hat es verloren, was ist also die mechanische Arbeit, welche das Gewicht durch Umdrehung der Welle geleistet hat?

104. Wie groß ist die Ausflußgeschwindigkeit, wenn die Druckhöhe der Reihe nach gleich ist 0,1 Meter, 0,5 Meter, 1,6 Meter u. s. w., oder wenn sie ist 2 Fuß, 7 Fuß, 36 Fuß preuß. Maaß? Zu §. 85

105. Wie groß muß die Druckhöhe S sein, um eine Ausflußgeschwindigkeit $v = 0{,}3$ Meter, $v = 1{,}2$ Meter, $v = 7{,}6$ Meter, oder um eine Ausflußgeschwindigkeit $v = 3$ Fuß, $v = 8$ Fuß, $v = 17$ Fuß zu erhalten?

106. Wie groß ist (nach Gl. 1 S. 153) die Ausflußmenge Q für folgende zusammengehörige Werthe des Durchmessers d der Oeffnung und der Druckhöhe s? Zu §. 87

$d = 0{,}02$ Meter und $s = 0{,}3$ Meter
$d = 0{,}02$ „ „ $s = 1{,}0$ „
$d = 0{,}04$ „ „ $s = 7{,}0$ „

107. Wie groß ist die Ausströmungsgeschwindigkeit für atmosphärische Luft unter dem Drucke einer Wassersäule von 0,2 Metern Höhe, wenn der Barometerstand 760 Millimeter beträgt? Zu §. 97

108. Wie groß ist unter gleichem Druck die Ausflußgeschwindigkeit der Kohlensäure und des Wasserstoffgases?

Digitized by Google

Zu §. 104 109. Zwischen der Wahrnehmung des Feuers und des Knalles einer abgefeuerten Kanone vergehen $7\frac{1}{2}$ Secunden; wie weit ist die Kanone entfernt?

110. Zwischen der Wahrnehmung von Blitz und Donner vergehen 25 Secunden; wie weit ist das Gewitter entfernt?

111. Einem Beobachter in A (Fig. 575) erscheint die von einem Blitzstrahl durchlaufene Strecke CB unter einem Winkel von 30^0; 10 Secunden nach der Wahrnehmung des Blitzes beginnt das Rollen des Donners, welches 7 Secunden lang anhält; wie groß ist die Länge BC des Blitzes?

112. Man läßt einen Stein in einen 475 Fuß tiefen Brunnen fallen; welche Zeit vergeht zwischen dem Augenblick, in welchem man den Stein losläßt, und dem Moment, in welchem man ihn ins Wasser fallen hört?

Fig. 575.

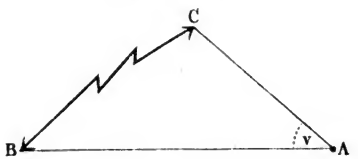


Fig. 576.

113. Zwischen dem Augenblick, in welchem man einen Stein losläßt, und demjenigen, in welchem man ihn auf den Boden eines Schachtes aufschlagen hört, vergehen $5\frac{1}{2}$ Secunden; wie tief ist der Schacht?

114. Ein Regiment ist in Colonnen aufgestellt, wie Fig. 576 andeutet. Der Zwischenraum zwischen je zwei auf einander folgenden Colonnen beträgt 15 Fuß. Wenn nun in einem bestimmten Moment die Tambouren bei a zu schlagen beginnen und jede Colonne in demselben Augenblick mit dem linken Fuß antritt, in welchem sie den ersten Trommelschlag hört, so müssen offenbar die hinteren Reihen später antreten, als die vorderen. Es ist nun die Frage, die wievielte Colonne beginnt den ersten Schritt in demselben Moment, in welchem die Mannschaft der ersten Reihe b den ersten Schritt vollendet hat, also den linken Fuß zum ersten Male wieder aufsetzt, vorausgesetzt, daß die Schrittdauer $\frac{1}{2}$ Secunde beträgt?

Zu §. 110 115. Wie groß ist die Wellenlänge des Grundtones einer offenen 18 Pariser Zoll langen Röhre?

116. Wie groß ist die Schwingungsdauer dieses Tones (v gleich 1050 Pariser Fuß)?

117. Welches ist die musikalische Bezeichnung dieses Tones, wenn die Stimmgabel a, also $\overline{a}$ 440 Schwingungen in der Secunde macht?

118. Wie groß ist danach die Schwingungszahl der Töne $\overline{c}$, $\overline{e}$, $\overline{g}$ und $\overline{\overline{c}}$?

119. Wie lang muß eine offene Pfeife sein, wenn ihr Grundton $\overline{a}$ sein soll?

120. Wie lang muß eine gedeckte Pfeife sein, deren Grundton C sein soll?

Digitized by Google

121. Der höchste noch hörbare Ton wird durch 36 000 Schwingungen in der Secunde erzeugt. Wie groß ist die Wellenlänge dieses Tones?

122. Wenn der Ton c in der Secunde 132 Schwingungen macht, welches ist die Schwingungszahl für die reinen Töne d, e, f, g, a, h und $\bar{c}$ der diatonischen Tonleiter?

123. Welches ist die Schwingungszahl der 12 Töne der chromatischen Tonleiter von c bis $\bar{c}$ für gleichschwebende Temperatur?

124. Eine Stahlsaite von 1 Meter Länge ist so gespannt, daß sie den Ton c giebt; wie lang müßte dieselbe Saite bei unveränderter Spannung sein, um die Töne d, e, f, g, a, h und $\bar{c}$ zu geben? Zu §. 111

125. Eine Stahlsaite giebt durch eine Kraft von 4 Kilogramm gespannt den Ton c; durch welche Kräfte müßte man diese Saite bei unveränderter Länge spannen, wenn sie die Töne d, e, f, g, a, h und $\bar{c}$ geben sollte?

126. Eine Stahlsaite von 1,2 Millimeter Durchmesser ist so gespannt, daß sie den Ton c giebt; wie dick müßte die Saite sein, um bei gleicher Länge und gleicher Spannung die große Terz, die Quint und die Octav von c zu geben?

127. Ein Stahlstab von der Form Fig. 234 Seite 209, welcher 15 Centimeter lang und 7 Millimeter dick ist, giebt den Ton $\overline{\overline{gis}}$. Es wird nun gefragt Zu §. 112

a. wie dick müßte ein Stahlstab bei gleicher Länge sein, wenn er die große Terz, die Quint und die Octav von $\overline{\overline{gis}}$ geben sollte?

b. wie lang müßte man einen 7 Millimeter dicken Stab machen, wenn er die oben genannten Töne geben soll?

128. Die Stimmgabel gehört auch in die Kategorie vibrirender Stäbe und annähernd kann man jeden Schenkel betrachten als einen an dem einen Ende festgeklemmten Stab. Welchen Einfluß hat es nun auf die Tonhöhe, wenn man die Schenkel der Stimmgabel verkürzt?

129. Welchen Einfluß hat es auf die Tonhöhe einer Stimmgabel, wenn man ihre Schenkel durch Abfeilen der einander zugekehrten Flächen dünner macht?

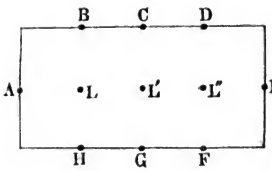
130. Bei unveränderter Erleuchtung von der Rückseite muß man auf der Vorderseite des Bunsen'schen Photometers die Normalkerze in einer Entfernung von 1,8 Fuß, eine Argand'sche Lampe aber in einer Entfernung von 7 Fuß von dem Papierschirm aufstellen, damit der Fettfleck unsichtbar wird. Wie groß ist die Leuchtkraft der Argand'schen Lampe? Zu §. 119

131. Eine Wachskerze giebt bei 3 Fuß Entfernung eine eben so starke Erleuchtung wie eine Gasflamme in 9 Fuß Entfernung. Die Wachskerze kostet 0,8 Kreuzer, die Gasflamme 1,2 Kreuzer per Stunde. Wie viel Wachskerzen müßte man anwenden, um eine der Gasflamme gleiche Lichtstärke zu erhalten und wie viel mal theurer würde die Erleuchtung durch Wachskerzen sein?

Digitized by Google

132. In einem Saale von 20 Fuß Breite und 40 Fuß Länge sind drei Argand'sche Lampen auf der Längsaxe des Saales bei L, L' und L'', Fig. 577, so angebracht, daß der Abstand AL sowohl wie der Abstand EL'', $L'L''$ und $L'L$ gleich 10 Fuß ist. Nimmt man nun die Erleuchtung, welche eine Argand'sche Lampe in 10 Fuß Entfernung hervorbringt, zur Einheit, wie groß ist alsdann die durch die drei Lampen in den Punkten $A, B, C, D \ldots H$ hervorgebrachte Erleuchtung?

Fig. 577.



133. Wie groß würde die Erleuchtung in den Punkten $A, B, C, D \ldots H$ sein, wenn man die drei Lampen in der Mitte des Saales bei L' vereinigte?

Zu §. 121 134. Die Scale $m\,n$, Fig. 258 Seite 230, eines Poggendorff'schen Spiegelapparates sei in Millimeter getheilt, der Abstand des Maßstabes von der Mitte des Spiegels, also $a\,o$, sei 2 Meter. Wie groß ist der Winkel, um welchen der Spiegel aus seiner Mittellage gedreht ist, wenn das Bild des Theilstrichs 1 (d. h. eines von dem Punkt o um 1 Millimeter abstehenden Theilstrichs) am Fadenkreuz des Fernrohres erscheint, oder mit anderen Worten, wie groß ist r, wenn $n = 1$?

135. Zwei ebene Spiegel machen einen Winkel von 45 Grad mit einander. Es sind die Bilder eines zwischen diesen Winkelspiegeln befindlichen leuchtenden Punktes zu construiren. (Die Zeichnung ist in dem doppelten Maßstab der Fig. 259 Seite 231 auszuführen.)

Zu §. 123 136. Die Brennweite eines Hohlspiegels sei 9 Zoll, wie groß ist sein Krümmungshalbmesser? Der Krümmungshalbmesser eines Hohlspiegels beträgt 8 Centimeter, die Lage seines Brennpunktes soll durch Construction gefunden werden (vergleiche Fig. 263 auf Seite 234).

137. Auf der Axe dieses Hohlspiegels befindet sich ein leuchtender Punkt A (vergleiche Fig. 266 auf Seite 235), welcher 12 Centimeter von dem Krümmungsmittelpunkt C des Hohlspiegels (also 20 Centimeter von der Mitte d des Spiegels) entfernt ist. Wie weit liegt das Bild a des Punktes A von C entfernt? Diese Aufgabe ist durch Construction zu lösen.

138. Dieselbe Aufgabe zu lösen für den Fall, daß der Abstand des Punktes A von der Mitte d des Spiegels 30, und für den Fall, daß dieser Abstand 12 Centimeter beträgt.

139. Auf der Axe desselben Hohlspiegels liegt ein leuchtender Punkt 6 Centimeter weit von d entfernt, wie groß ist die Entfernung seines Bildes von d? Auch diese Aufgabe ist durch Construction zu lösen.

140. Ein leuchtender Punkt A (vergleiche Fig. 267 Seite 236) liege auf der Axe eines Hohlspiegels von 4 Centimetern Brennweite 3 Centimeter von der Mitte d des Spiegels entfernt; durch Construction den Punkt a zu finden, von

Digitized by Google

welchem die von A ausgehenden Strahlen nach der Reflexion durch den Hohlspiegel divergiren.

141. Ein Pfeil von 1 Centimeter Höhe befindet sich 65^{mm} weit von der Mitte eines Hohlspiegels von 4^{cm} Brennweite und zwar so, daß die Hälfte seiner Länge über, die Hälfte unter der Axe des Hohlspiegels liegt. Das Bild dieses Pfeils soll construirt werden (vergleiche Fig. 269). Wie hoch ist das Bild?

142. Dieselbe Aufgabe zu lösen für den Fall, daß ein 24^{mm} hoher Pfeil 18 Centimeter weit von der Mitte des Spiegels entfernt ist.

143. Ein Pfeil von 1 Centimeter Höhe liegt 2 Centimeter weit vor der Mitte eines Hohlspiegels von 4^{cm} Brennweite. Das Bild des Pfeils soll construirt werden (vergleiche Fig. 271 Seite 239).

144. Der Krümmungshalbmesser eines Convexspiegels beträgt 8 Centimeter. Die Lage seines Hauptzerstreuungspunktes soll durch Construction bestimmt werden (vergleiche Fig. 272). Zu §. 125

145. Ein Pfeil von 24^{mm} Höhe liegt 4 Centimeter weit von der Mitte des Spiegels entfernt (vergleiche Fig. 273), das Bild des Pfeils soll construirt werden. Wie hoch ist das Bild?

146. Wenn ein Lichtstrahl so auf eine ebene Wasseroberfläche fällt, daß er einen Winkel von 60^0 mit dem Einfallsloth macht, so wird er nach dem Uebergange in Wasser einen Winkel von $40^0\,14'$ mit dem Einfallsloth machen. Wie groß ist demnach der Brechungsexponent für den Uebergang eines Lichtstrahles aus Luft in Wasser? Zu §. 127

147. Für den Uebergang aus Luft in Glas hat man als zusammengehörige Werthe des Einfalls- und Brechungswinkels gefunden $i = 60^0$ und $r = 34^0 28'$. Wie groß ist demnach der Brechungsexponent des Glases?

148. Wie groß müssen beim Uebergang eines Lichtstrahles aus Luft in Wasser die Einfallswinkel sein, wenn die zugehörigen Brechungswinkel 10, 20, 30 und 40^0 sein sollen?

149. Wie groß sind beim Uebergang aus Luft in Wasser die Brechungswinkel, welche den Einfallswinkeln 10, 20, 30 u. s. w. bis 90^0 entsprechen?

150. Ein Lichtstrahl fällt so auf eine ebene Glasfläche, daß der Einfallswinkel $i = 42^0$ ist; wie groß ist der zugehörige Brechungswinkel?

151. Wie groß ist beim Uebergang aus Luft in Glas der Werth des Brechungswinkels r, welcher den Einfallswinkeln i gleich 5, 15, 25 u. s. w. bis 85^0 entspricht?

NB. Die Aufgaben 148 bis 151 können sowohl durch Rechnung als auch durch Construction gelöst werden. Im ersteren Falle nehme man für den Brechungsexponenten aus Luft in Wasser $n = 1{,}34$ und für den Brechungsexponenten aus Luft in Glas $n = 1{,}53$. Wenn man aber die Aufgaben durch Construction lösen will, so kann man die angenäherten Brechungsexponenten $n = 1{,}33 \ldots = {}^4/_3$ und $n = 1{,}5 = {}^3/_2$ in Anwendung bringen.

Digitized by Google

152. Für den Uebergang aus Luft ist der Brechungsexponent für

Wasser	1,34
Alkohol	1,37
Benzol	1,50
Crownglas	1,53
Flintglas	1,64
Schwefelkohlenstoff	1,68
Diamant	2,47

Wie groß ist für diese Substanzen der Werth des Gränzwinkels?

153. Wie groß ist der Brechungsexponent für den Uebergang eines Lichtstrahles aus Wasser in Benzol?

154. Wie groß ist der Brechungsexponent für den Uebergang eines Lichtstrahles aus Wasser in Schwefelkohlenstoff?

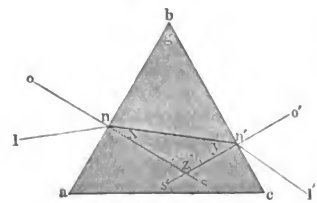
155. Wie groß ist der Werth des Gränzwinkels für den Uebergang eines Lichtstrahles aus Wasser in Benzol?

156. Wie groß ist der Gränzwinkel für den Uebergang eines Lichtstrahles aus Wasser in Schwefelkohlenstoff?

Zu §. 128

157. Der brechende Winkel g des Glasprismas Fig. 578 sei 60°. Ein Strahl ln treffe die vordere Fläche ab so, daß der Einfallswinkel i ($i = lno$) gleich 52° ist. Durch Construction die Richtung des gebrochenen Strahls nn' und des austretenden Strahls $n'l'$ zu finden unter der Voraussetzung, daß der Brechungsexponent der Prismensubstanz $^3/_2$ ist.

Fig. 578.



Nach Ausführung der Construction ist der Winkel zu messen, welchen der einfallende Strahl ln mit dem austretenden $n'l'$ macht.

158. Der brechende Winkel eines Flintglasprismas sei 60°, der Brechungsexponent des Glases 1,63. Durch Rechnung zu bestimmen, wie groß für $i = 52°$ der Winkel x, der Winkel y und der Winkel i' ($i' = o'n'l'$) ist und endlich anzugeben, welchen Winkel D der austretende Strahl $n'l'$ mit dem eintretenden nl macht.

159. Für ein Glasprisma sei $g = 45°$, $n = 1{,}53$, wie groß werden x, y, i' und D für $i = 39°$, $i = 31°$ und für $i = 28°$ (durch Rechnung zu lösen)?

160. Welche Beziehung besteht zwischen den Winkeln x, y und g, Fig. 577? Wie groß ist $x + y$ für $g = 60°$ und für $g = 45°$?

161. In welchem Verhältniß steht jeder der Winkel x und y zu g für den Fall, daß $x = y$? Wie groß ist x und y, wenn $x = y$ und $g = 60°$ oder $g = 45°$?

Digitized by Google

162. Wenn der gebrochene Strahl nn', Fig. 578, gleiche Winkel mit der Eintritts- und Austrittsfläche des Prismas macht, wenn also $x = y$, so ist die durch das Prisma hervorgebrachte Ablenkung (der Winkel D, welchen der einfallende Strahl ln mit dem austretenden $n'l'$ macht) kleiner als für jede andere Richtung des Strahls im Prisma. Wie groß ist nun

a) das Minimum der Ablenkung für das in der Aufgabe 157 besprochene Prisma (durch Construction zu lösen)?

b) das Minimum der Ablenkung für das in der Aufgabe 158 besprochene Flintglasprisma?

c) das Minimum der Ablenkung für ein Wasserprisma, dessen brechender Winkel 60° und für ein solches, dessen brechender Winkel 45° ist?

163. Der Krümmungshalbmesser einer gleichgewölbten biconvexen Linse von der Form Fig. 289 Seite 250 betrage 4 Centimeter. Wie groß ist die Brennweite der Linse, wenn der Brechungsexponent der Linsensubstanz 1,5 ist? Zu §. 130

164. Auf der Axe dieser Linse, deren Durchmesser AB gleich 2 Centimeter sein mag, liege ein leuchtender Punkt S 18 Centimeter weit von der Mitte der Linse entfernt; es soll durch Construction der Vereinigungspunkt R für das von S ausgehende, auf die Linse fallende Strahlenbündel gesucht werden.

165. Dieselbe Aufgabe zu lösen für den Fall, daß der Abstand des leuchtenden Punktes S von der Mitte der Linse 12, 8, 6 und 5 Centimeter beträgt.

166. Ein leuchtender Punkt T (vergleiche Fig. 293 auf Seite 253) liege auf der Axe eben dieser Linse um 2 Centimeter von der Mitte der Linse entfernt (also innerhalb der Brennweite); es soll durch Construction die Lage des Punktes V ermittelt werden, von welchem die Strahlen nach ihrem Durchgang durch die Linse zu divergiren scheinen.

167. Von einem Pfeil von 1 Centimeter Höhe, welcher halb über halb unter der Axe der in den Aufgaben 163 bis 166 besprochenen Linse liegt und dessen Mitte um 6 Centimeter von der Mitte der Linse entfernt ist, soll das Bild construirt werden. Wie verhält sich die Größe des Bildes zur Größe des Gegenstandes (vergleiche Fig. 298 Seite 255). Zu §. 138

168. Das Bild eines Pfeiles zu construiren, dessen Mitte 18 Centimeter weit von der Mitte der Linse entfernt ist. Die Höhe des Pfeiles, welcher halb über halb unter der Axe liegt, sei 3 Centimeter. Wie groß ist die Höhe des Bildes?

169. Innerhalb der Brennweite dieser Linse befinde sich ein halb über halb unter der Axe liegender Pfeil von 1 Centimeter Höhe, dessen Mitte um 2 Centimeter von der Mitte der Linse entfernt ist (vergleiche Fig. 300 auf Seite 256). Es soll das Bild des Pfeils construirt werden.

170. Nehmen wir als Einheit der Stromstärke diejenige, welche an der Tangentenbussole eine Ablenkung von 45° hervorbringt, wie groß ist alsdann die Stromstärke, welche den Ablenkungswinkeln 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80° und 85° entspricht? Zu §. 219

Digitized by Google

171. Welche Ablenkung wird bei Zugrundelegung der in der vorigen Aufgabe definirten Stromeinheit ein Strom hervorbringen, dessen Stromstärke $^1/_2$, 2, 5, 10, 20 ist?

Zu §. 221 172. Sechs Zinkkohlenbecher sind zur Säule verbunden. Nach den in §. 224 des Grundrisses definirten Einheiten sei die elektromotorische Kraft eines einzelnen Bechers 840, der wesentliche Leitungswiderstand für jeden Becher sei gleich 12 und der Leitungswiderstand des gesammten Schließungsbogens sei 40. Wie groß ist die Stromstärke, welche der Apparat unter diesen Umständen liefert?

173. Ein einzelner Becher von der in der Aufgabe 172 besprochenen Art ist durch einen Schließungsbogen geschlossen, dessen Leitungswiderstand gleich 6 ist; wie groß ist die Stromstärke?

174. Eine Säule von 10 solchen Bechern und eine Säule von 50 Bechern wird durch denselben Schließungsbogen geschlossen, dessen Leitungswiderstand gleich 6 ist; wie groß ist in diesen beiden Fällen die Stromstärke?

175. Welche Stromstärke wird eine Säule von 1, von 10, von 50 Zinkkohlenbechern erzeugen, wenn der Leitungswiderstand im Schließungsbogen gleich 400 ist?

176. Dieselben Aufgaben 172 bis 175 unter der Voraussetzung zu lösen, daß Daniell'sche Becher an die Stelle der Zinkkohlenbecher gesetzt werden und die elektromotorische Kraft e eines solchen Bechers gleich 470, sein wesentlicher Leitungswiderstand aber gleich 20 ist?

Zu §. 222 Nehmen wir den elektrischen Leitungswiderstand eines Kupferdrahtes von 1 Meter Länge und 1 Millimeter Durchmesser zur Einheit, so hat man für den Leitungswiderstand W irgend eines anderen Metalldrahtes von der Länge l (in Metern ausgedrückt) und dem Durchmesser d (in Millimetern ausgedrückt)

$$W = n \frac{l}{d^2},$$

wenn n den specifischen Leitungswiderstand des Metalls bezeichnet, aus welchem der Draht gefertigt ist.

177. Wie groß ist der Leitungswiderstand eines 50 Meter langen und 3 Millimeter dicken Eisendrahtes?

178. Wie groß ist der Leitungswiderstand eines 20000 Meter langen Kupferdrahtes von 2,5 Millimeter Durchmesser?

179. Wie dick müßte man einen Eisendraht machen, wenn er bei gleicher Länge den gleichen Leitungswiderstand haben soll, wie der in der vorigen Aufgabe besprochene Kupferdraht?

180. Wie lang müßte ein Neusilberdraht von 0,75 Millimeter Durchmesser sein, wenn sein elektrischer Leitungswiderstand gleich dem des Kupferdrahtes sein sollte, welcher in der 178. Aufgabe besprochenen wurde?

181. Um den Leitungswiderstand s einer Magnetisirungsspirale durch den Versuch zu bestimmen, wurde in folgender Weise verfahren:

Digitized by Google

a. Sechs große Zinkkohlenbecher wurden zu einem einzigen Plattenpaare verbunden und durch eine etwas lange Leitung von dickem Kupferdraht mit der Tangentenbussole (deren Reductionsfactor = 70) verbunden. Der Ausschlag der Tangentenbussole war 53°.

b. Als nun in den Schließungsbogen ein Draht eingeschaltet wurde, dessen Leitungswiderstand gleich 50 war, sank die Ablenkung auf 11,5°.

c. Nach Entfernung des Leitungswiderstandes 50 wurde die Magnetisirungsspirale eingeschaltet und nun stellte sich die Nadel der Tangentenbussole auf 20°.

Es sind nun folgende Fragen zu beantworten:

α. Wie groß ist der Leitungswiderstand L des Elektromotors sammt der Kupferdrahtleitung, welche ihn mit der Tangentenbussole verbindet?

β. Wie groß ist der Leitungswiderstand s der Magnetisirungsspirale?

182. Ein zweiter Versuch zur Bestimmung des Leitungswiderstandes derselben Magnetisirungsspirale wurde in der Weise angestellt, daß die erwähnten sechs Zinkkohlenbecher zur Säule combinirt wurden. Als die Säule nur durch die Kupferdrahtleitung mit der Tangentenbussole verbunden wurde, war der Ausschlag 63°; durch Einschaltung des Leitungswiderstandes 50 sank er auf 39°; als aber statt des Leitungswiderstandes 50 die Magnetisirungsspirale eingeschaltet wurde, ergab sich die Ablenkung 48°. Es ist nun die Frage

α. Wie groß ist der Leitungswiderstand L' der Säule sammt der Kupferdrahtleitung, welche sie mit der Bussole verbindet?

β. Wie groß ist der Leitungswiderstand s der Magnetisirungsspirale?

Der Werth von s, wie er sich als Resultat der Aufgabe 182 herausstellt, wird mit dem aus 181 erhaltenen nicht ganz übereinstimmen. Der wahrscheinlichere Werth des fraglichen Leitungswiderstandes ist das Mittel aus den beiden für s erhaltenen Werthen.

183. Bezeichnen wir mit l den Leitungswiderstand der Drahtleitung, welche den Elektromotor mit der Tangentenbussole verbindet, mit r den Leitungswiderstand eines Bechers, so haben wir für den in der Aufgabe 181 betrachteten Leitungswiderstand L

$$L = l + \frac{r}{6},$$

für den in der Aufgabe 182 vorkommenden Widerstand L' aber haben wir

$$L' = l + 6r.$$

Wie groß ergeben sich l und r, wenn man für L und L' die oben berechneten Zahlenwerthe einführt?

184. In den Schließungsbogen einer Säule von 8 Bunsen'schen Bechern wurde gleichzeitig eine Tangentenbussole und ein Voltameter eingeschaltet. Der Strom brachte an der Tangentenbussole eine Ablenkung von 24,8 Graden hervor, während in 1 Minute 35 Kubikcentimeter Knallgas im Voltameter entwickelt wurden. Welches ist der Reductionsfactor der Tangentenbussole, d. h. mit welchem Factor muß man die trigonometrische Tangente des Ablenkungswinkels

Zu §. 224

Digitized by Google

multipliciren, um die in Kubikcentimetern ausgedrückte Gasmenge zu erhalten, welche der entsprechende Strom in 1 Minute liefert?

185. Zur Bestimmung des Reductionsfactors der eben besprochenen Tangentenbussole wurden statt eines einzigen eine Reihe von Versuchen gemacht, bei welchen als Rheomotor (Stromerreger) eine aus Bunsen'schen Bechern gebildete Säule angewendet wurde. Die Resultate dieser Versuchsreihe sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Zahl der Becher.	Ablenkung.	Entwickelte Gasmenge in 1 Minute.
12	28,5	41,7
8	24,8	35,0
6	22,0	30,8
4	18,75	26,0
3	13,75	18,7
2	5,9	7,9

Wie groß ist nach jedem dieser Versuche der Reductionsfactor der Tangentenbussole? Welches ist der Mittelwerth dieses Reductionsfactors?

Zu §. 241 186. Welcher Grad der Reaumur'schen Scale entspricht dem 23. Grade der Celsius'schen?

187. Welches ist die Temperatur von 78° C. nach dem Fahrenheit'schen Thermometer?

188. Wie viel Grad Celsius sind 61° R.?

189. Die Temperatur von 93° Fahrenheit nach der Celsius'schen Scale auszudrücken.

190. In §. 241 sind zwei Gleichungen entwickelt worden, welche die Beziehungen zwischen der Celsius'schen und Fahrenheit'schen Scale angeben. In gleicher Weise soll nun eine Formel entwickelt werden, nach welcher man die Temperaturangaben der Reaumur'schen Scale auf die Fahrenheit'sche, und eine zweite, nach welcher man die Temperaturangaben der Fahrenheit'schen Scale auf die Reaumur'sche reduciren kann.

191. Welcher Grad der Reaumur'schen Scale entspricht der Temperatur von 105° Fahrenheit?

192. Welcher Grad der Fahrenheit'schen Scale entspricht der Temperatur — 12° R.?

193. Für welche Temperatur fallen die Angaben des Celsius'schen und des Fahrenheit'schen Thermometers zusammen?

194. Für welche Temperatur fallen die Angaben des Reaumur'schen und des Fahrenheit'schen Thermometers zusammen?

Digitized by Google

195. Eine eiserne Gitterbrücke hat bei 0° eine Länge von 200 Fuß; wie lang wird sie sein, wenn sie im Sommer durch den Einfluß der Sonnenstrahlen auf + 40° C. erwärmt wird? Zu §. 242

196. Wie lang ist dieselbe Brücke bei einer Temperatur von — 20° C.

197. Ein Messingstab hat sich bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 90° C. um 2 Millimeter ausgedehnt; wie groß war seine Länge bei 0°?

198. Ein Kupferstab, welcher bei 0° 1,5 Meter lang war, hat sich bei einer Temperaturerhöhung von 100° C. um 2,6 Millimeter ausgedehnt; wie groß ist demnach der Ausdehnungs-Coëfficient des Kupfers?

199. Bezeichnen wir die Länge, welche ein Körper bei 0° einnimmt, mit L_0, seine Länge bei t^0 mit L_t; wie groß ist dann sein Ausdehnungs-Coëfficient?

200. Ein Messingstab hat bei 15° C. eine Länge von 1,8 Meter; wie lang wird er bei 75° C. sein?

201. Ein Eisenstab hat bei — 20° C. eine Länge von 15 Fuß; wie lang wird er bei + 36° C. sein?

202. Es sei L_t die Länge eines Stabes bei t^0, a der Ausdehnungs-Coëfficient der Substanz; wie groß ist seine Länge L bei einer Temperatur von τ^0?

203. Wie groß ist der kubische Ausdehnungs-Coëfficient für die in der Tabelle auf Seite 446 aufgeführten Körper? Die erhaltenen Resultate sind gleichfalls tabellarisch zusammenzustellen. Zu §. 243

204. Ein Hohlwürfel von Zinkblech hat bei 0° einen Kubikinhalt von 1 badischem Kubikfuß oder 27 Kubikdecimetern; wie groß wird der Rauminhalt dieses Würfels bei 32° C. sein?

205. Ein Glasgefäß mit engem Halse faßt bei 0° bis zu einer Marke am Halse genau 1000 Kubikcentimeter; welches ist der Rauminhalt dieses Gefäßes bei 100° C.?

206. Bei 0° ist das specifische Gewicht des Bleies 11,352; wie groß wird das specifische Gewicht des Bleies bei 100° C. sein?

207. Durch einen directen Versuch (s. Lehrbuch II, Seite 489, 5 Aufl.) fand Kopp den kubischen Ausdehnungs-Coëfficienten für weiches Natronglas gleich 0,000026, für hartes Kaliglas aber gleich 0,000021; wie groß wäre demnach der Längenausdehnungs-Coëfficient dieser Glassorten?

208. Nach Kopp's Versuchen ist der kubische Ausdehnungs-Coëfficient des Quarzes gleich 0,000042; wie groß ist der Längenausdehnungs-Coëfficient dieses Minerals?

209. Das Quecksilber, welches ein Glasgefäß von der Form Fig. 579 (a. f. S.) bei 0° vollständig bis zur Spitze ausfüllt, wiegt 264 Gramm. Bis auf 100° C. erwärmt, tritt etwas Quecksilber tropfenweise aus der Spitze aus. Nachdem der Apparat so lange der Temperatur von 100° C. ausgesetzt war, daß das Ausfließen von Quecksilber aufgehört hat, daß man also überzeugt sein konnte, alles im Gefäße eingeschlossene Quecksilber sei auf 100° C. erwärmt, wurde abermals Zu §. 244

Digitized by Google

gewogen und nun fand man, daß das Gewicht des eingeschlossenen Queckſilbers nur noch 260 Gramm beträgt. Welches iſt der Coëfficient der ſcheinbaren Ausdehnung des Queckſilbers? Wie groß iſt die abſolute Ausdehnung des Queckſilbers? (Das Gefäß beſtand aus weichem Natronglas.)

Fig. 579.

210. Das Quantum Benzol, welches ein Glasgefäß von der Form Fig. 502 auf Seite 449 bei 0° bis zur Marke *a* füllt, wiegt 19,76 Gramm. Das Gefäß wird ſammt ſeinem Inhalt auf 60,5 erwärmt, alle Flüſſigkeit entfernt, welche über *a* ſteht, und nun ergiebt eine abermalige Wägung, daß die noch im Gefäß enthaltene Flüſſigkeit 18,47 Gramm wiegt. Welches iſt der Ausdehnungs-Coëfficient für die ſcheinbare und welches für die abſolute Ausdehnung des Benzols?

211. Welchen Raum nimmt bei 92° C. das Oelquantum ein, welches bei 0° C. genau 1 Liter füllt? (Ausdehnungs-Coëfficient 0,001.)

212. Man kauft bei — 10° C. 1 Liter Weingeiſt. Welchen Raum nimmt derſelbe bei + 32° C. ein? (Ausdehnungs-Coëfficient 0,001.)

213. Bei 0° iſt das ſpecifiſche Gewicht des abſoluten Alkohols gleich 0,793; wie groß iſt es bei 20° C.?

214. Bei einer Temperatur von 25° C. hat man die Barometerhöhe gleich 752 Millimeter gefunden. Dieſe Barometerhöhe iſt auf 0° zu reduciren, d. h. es iſt zu berechnen, wie hoch die Barometerſäule bei gleichem Luftdruck ſein würde, wenn ſie auf 0° erkaltet ſein würde?

Zu §. 245 215. Ein gegebenes Quantum Leuchtgas nimmt bei 0° einen Raum von 46 Kubikfußen ein. Welchen Raum wird dieſe Gasmaſſe bei unverändertem Druck einnehmen, wenn ihre Temperatur auf 23° C. geſteigert wird?

216. In einem Voltameter hat man bei 18° C. 73 Kubikcentimeter Knallgas aufgefangen. Wie groß wird bei unverändertem Druck das Volumen dieſer Gasmenge ſein, wenn ſie auf 0° erkaltet wird?

217. Das ſpecifiſche Gewicht der Luft bei 0° und bei einem Barometerſtand von 760^{mm} iſt 0,001293 (Waſſer gleich 1 geſetzt). Wie groß iſt das ſpecifiſche Gewicht der Luft bei unverändertem Druck und einer Temperatur von 93° C.?

Zu §. 247 218. In eine Waſſermaſſe von 461,3 Gramm, deren Temperatur 16,86° iſt, werden 43,8 Gramm Schnee von 0° geworfen. Nach vollſtändiger Schmelzung des Schnees iſt die Temperatur des Waſſers auf 8,53° erniedrigt. Wie groß ergiebt ſich nach dieſem Verſuch der Werth für die latente Wärme des Waſſers?

219. 50,45 Gramm Schnee von — 0,32° C. werden in 462,2 Gramm Waſſer von 16,1° C. geworfen. Nach vollendeter Schmelzung findet man die Temperatur des Waſſers gleich 6,78° C. Wie groß iſt nach dieſem Verſuch die latente Wärme des Waſſers?

220. Ein 92^{gr} ſchweres Stück Eis von 0° wird in eine 1200^{gr} ſchwere

Digitized by Google

Wassermasse von 23° C. geworfen. Welches ist die Temperatur des Wassers nach der Schmelzung?

221. In eine Wassermasse von 2000^{gr}, welche eine Temperatur von 25° C. hat, werden 1000^{gr} Eisstücke von 0° geworfen. Wie viel Eis wird geschmolzen sein, bis das Wasser auf 0° erkaltet ist?

NB. Bei Lösung der Aufgaben 220 und 221 soll die latente Wärme des Wassers gleich 79 angenommen werden und vorausgesetzt sein, daß das Wasser nach außen hin weder Wärme abgiebt, noch solche von außen empfängt.

222. Welches ist nach der Gleichung auf Seite 464 die Temperatur, bei welcher das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes gleich ist $^1/_4$, $^1/_2$, $^3/_4$, 1, 3, 5, 10, 20, 30 Atmosphären? Zu §. 252

223. Welches ist nach derselben Gleichung die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes für eine Temperatur von 25, 55, 95, 120, 150 und 180 Grad Celsius?

224. Nach den auf Seite 466 gemachten Angaben soll die Beziehung zwischen Spannkraft (p) und Volumen (V) des gesättigten Wasserdampfes graphisch dargestellt werden.

Um diese Aufgabe zu lösen, markire man auf einer horizontalen Linie die Punkte, welche von einer beliebigen Stelle an gemessen 1, 2, 4 und 10 Centimeter nach der Rechten liegen und errichte in jedem dieser Punkte ein Perpendikel. Auf dem Perpendikel von 1 trage man die Länge 170^{mm} (dem Volumen 1700 entsprechend), in den Punkten 2, 4 und 10 aber trage man die Längen 89,7, 47,5 und 20,7 (dem Volumen 897, 475 und 207 entsprechend) auf. Die Curve, welche die Gipfelpunkte der so aufgetragenen Ordinaten verbindet, stellt alsdann den fraglichen Zusammenhang graphisch dar. Diese Zeichnung ist mit möglichster Sorgfalt auszuführen.

225. Wie viel Liter gesättigten Dampfes von 3, 5, 6, 7, 8 und 9 Atmosphären Spannkraft liefert 1 Liter Wasser?

Zur Lösung dieser Aufgabe dient die nach der vorigen Aufgabe construirte Figur. Man hat nämlich nur in den Punkten 3, 5, 6, 7, 8 und 9 der Abscissenaxe Perpendikel zu errichten und zu messen, wie viel Millimeter die Länge der Ordinaten der Curve für diese Abscissenpunkte beträgt. Die so erhaltenen Zahlen, welche tabellarisch zusammenzustellen sind, geben die Antwort auf obige Frage. Die Lösung dieser Aufgabe ist mit Sorgfalt auszuführen, weil von den Resultaten derselben später Gebrauch gemacht wird.

226. Für welche Temperaturen würde nach dem Dalton'schen Gesetze die Spannkraft des Aetherdampfes gleich dem Druck von 2, 4, 8 Atmosphären?

227. Dieselbe Aufgabe zu lösen für schweflige Säure, Schwefelkohlenstoff und Terpentinöl.

NB. Die Siedpunkte dieser Flüssigkeiten, welche man zur Lösung dieser Aufgabe kennen muß, findet man in §. 259 Seite 485.

Digitized by Google

Zu §. 257 228. Wie groß ist nach Gleichung 2) die absolute mechanische Arbeit, welche 1^{kgr} Wasserdampf an den Kolben einer Dampfmaschine übertragen kann, wenn p gleich dem Druck von 3, 5, 8 Atmosphären ist.

(NB. Der Werth von pV ergiebt sich aus der Auflösung der Aufgabe 225.)

229. Der Kolben einer Dampfmaschine hat 3 Decimeter Durchmesser, der Kolbenhub ist 9 Decimeter. Wenn nun der Kolben in 3 Secunden einen Auf- und einen Niedergang vollendet und wenn die Spannkraft des Dampfes, welche ihn treibt, gleich dem Druck von 4 Atmosphären ist, wie viel Meterkilogramm nutzbarer Arbeit $\left(\text{gleich } \frac{E}{2} \text{ angenommen}\right)$ vollbringt dann die Maschine in 1 Minute? Wie viel Pferdekräften ist die Maschine unter den gegebenen Umständen gleichzusetzen?

230. Wie viel Kilogramm Wasserdampf consumirt eine Dampfmaschine von 10 Pferdekräften (nutzbarer Arbeit) während einer Stunde, wenn der Dampf, welcher den Kolben treibt, 3, 5, 8 Atmosphären Spannkraft hat?

Zu §. 261 231. In einem Kühlfaß von der Form Fig. 530 Seite 489 sind 60 Kubikdecimeter Kühlwasser enthalten, welches zu Anfang der Operation eine Temperatur von 8^0 C. hatte. In der Blase B befindet sich Wasser, welches überdestillirt werden soll. Nachdem aus dem Kühlrohre bei O 2 Liter destillirten Wassers abgeflossen sind, findet man, daß die Temperatur des Kühlwassers auf $28{,}5^0$ C. gestiegen ist. Aus diesen Daten ist die latente Wärme des Wasserdampfes zu berechnen.

232. In demselben Apparate, welcher in der vorigen Aufgabe besprochen wurde, wird unter sonst ganz gleichen Umständen aus der Blase B Weingeist destillirt. Nachdem 3 Kilogramm Weingeist überdestillirt sind, ist die Temperatur der 60 Kubikdecimeter Kühlwasser von 8^0 C. auf 22^0 C. gestiegen. Wie groß ist nach diesem Versuche die latente Wärme des Weingeistdampfes?

233. Derselbe Versuch wird mit Aether wiederholt und man findet, daß die Temperatur der 60 Kilogramm Kühlwasser von 8^0 C. auf 17^0 C. gestiegen ist, nachdem 5 Kilogramm Aether überdestillirt sind. Wie groß ist danach die latente Wärme des Aetherdampfes?

(NB. Bei Auflösung dieser drei Aufgaben soll abgesehen werden von der Wärme, welche das Kühlwasser an die Umgebung verliert oder von der Umgebung etwa aufnimmt.

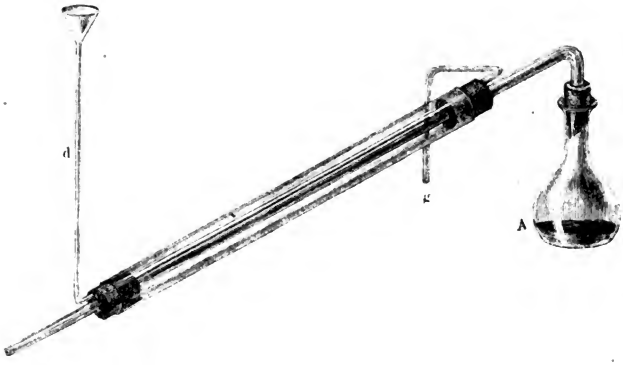
Bei den beiden letzten Aufgaben muß noch in Rechnung gebracht werden, daß die specifische Wärme des Alkohols und des Aethers geringer ist als die des Wassers. Wir wollen den Werth für die specifische Wärme des Aethers und des Alkohols gleich 0,5 setzen, also annehmen, daß die Wärmemenge, welche 1 Kilogramm Alkohol oder Aether bei einer Temperaturerniedrigung von 1^0 C. verliert, gerade hinreicht, um die Temperatur von 1 Kilogramm Wasser um $0{,}5^0$ C. zu erhöhen.)

234. In einem Kühlapparate von der in Fig. 580 dargestellten Einrichtung sind 420 Gramm Kühlwasser von 10^0 C. enthalten. Wie hoch wird

Digitized by Google

die Temperatur dieses Kühlwassers gestiegen sein, nachdem man a. 15 Gramm Wasser, oder b. 25 Gramm Weingeist, oder c. 35 Gramm Aether aus dem Gefäße *A* überdestillirt hat?

Fig 580.



235. Wie viel Wärmeeinheiten sind nöthig, um die Temperatur von 793 Gramm Quecksilber um 45° C. zu erhöhen? Zu §. 261

236. Wie viel Wärmeeinheiten sind erforderlich, um 60 Kilogramm Eisen von 10° C. auf 150° C. zu erwärmen?

237. Wie viel Calorien müssen einer Masse von 1523 Gramm Weingeist (specif. Gewicht 0,833) zugeführt werden, wenn seine Temperatur von 15° C. bis auf 63° C. erhöht werden soll?

238. In 180 Gramm Wasser von 19° C. werden einige Stückchen Eisen eingetaucht, welche zusammen 60 Gramm wiegen und welche auf 100° C. erwärmt waren. Nach vollständiger Ausgleichung der Temperatur findet man, daß die des Kühlwassers auf 22° C. gestiegen ist; wie groß wäre nach diesem Versuche die specifische Wärme des Eisens?

239. Um die specifische Wärme des Quecksilbers zu ermitteln, wurden 80 Gramm dieses Metalls auf 98° C. erwärmt, in 112 Gramm Wasser von 10° C. gegossen, welches in einem Glaskolben enthalten war. Nach gehörigem Schütteln fand man, daß die Temperatur des Kühlwassers auf 12° C. gestiegen war. Wie groß ist nach diesem Versuch die specifische Wärme des Quecksilbers? (Ohne Rücksicht auf die Wärmezunahme des Glasgefäßes zu nehmen.)

240. Um die specifische Wärme des Benzols zu finden, wurde folgender Versuch angestellt. 43,5 Gramm Benzol von 65° C. wurden in ein Kölbchen gegossen, welches 100 Gramm Wasser von 8° C. enthielt. Nach tüchtigem Schütteln war die Temperatur der Mischung 15,5° C. Aus diesen Daten soll die specifische Wärme des Benzols berechnet werden.

Digitized by Google

241. Es werden 250 Gramm Waſſer von 5° C. und 250 Gramm Terpentinöl von 50° C. zuſammengeſchüttelt. Welches wird die Temperatur des Gemenges ſein?

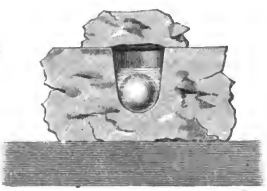
242. In einer Maſſe von 500 Gramm Waſſer von 10° C. wird eine 83 Gramm ſchwere, auf eine Temperatur von 340° C. erwärmte eiſerne Kugel eingetaucht. Wie hoch wird die Temperatur des Kühlwaſſers nach vollſtändiger Abkühlung der Kugel ſein?

243. Eine 200 Gramm ſchwere Platinkugel war in dem Feuer eines Ofens ſtark erhitzt und dann in einer Waſſermaſſe von 1000 Gramm abgelöſcht worden; in Folge davon ſtieg aber die Temperatur des Waſſers von 13° auf 20° C. Wie hoch war demnach die Temperatur der Platinkugel vor dem Eintauchen?

Zur Löſung dieſer Aufgabe muß natürlich die ſpecifiſche Wärme des Platins bekannt ſein.

244. Ein Eisblock von 0°, in welchen man eine Höhlung gemacht hat, ungefähr wie Fig. 581 zeigt, befindet ſich in einem Raume, deſſen Temperatur noch etwas unter 0° iſt, ſo daß ein Schmelzen des Eiſes durch den Einfluß der äußeren Umgebung nicht ſtattfinden kann. In dieſe Höhlung wird nun eine 200 Gramm ſchwere, auf 100° C. erwärmte eiſerne Kugel gelegt und dann ſogleich die Höhlung durch ein Eisſtück zugedeckt. Nachdem die Kugel auf 0° erkaltet iſt, findet ſich, daß 293 Gramm Eis geſchmolzen worden ſind. Wie groß iſt danach die ſpecifiſche Wärme des Eiſens?

Fig. 581.



Digitized by Google

Alphabetisches Inhaltsverzeichniß.

Seite

A.

Aberration, sphärische, der Hohlspiegel 235
— — der Linsen . . 250
— chromatische 269
Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom 393
Absorption der Gase 117
— der Wärmestrahlen . . . 499
Abstoßung, magnetische 322
— elektrische 337
Abweichung, magnetische 328
Accommodation 274
Accord 204
Achromatische Prismen 268
— Linsen 270
Adhäsion 57
Aequivalente 10
Aequator, magnetischer 331
Aether 12
Aggregatzustände 108
Akustik 177
Akustischer Nerv 216
Alkoholometer 78
Ampère's Stativ 415
— Theorie des Magnetismus 418
Ansatzröhren, Einfluß derselben auf die Ausflußmenge 155
Anziehung, elektrische 337
— magnetische 321
Aräometer 74
— Nicholson's 74
Arbeit 141
Archimedisches Princip 70
Armaturen, magnetische 326
Astatische Nadel 396
— Stromleiter 416
Astronomisches Fernrohr 291
Atmosphäre 92
— Höhe derselben 534
— Zusammensetzung derselben 533

Seite

Atmosphärendruck 96
Atmosphärische Elektricität 569
— Feuchtigkeit 545
Atom 9
Atomistische Theorie 9
Atwood's Fallmaschine 125
Auftrieb 69
Auge 272
Ausdehnbarkeit 9
Ausdehnung 3
— cubische 448
— der Flüssigkeiten 449
— fester Körper 445
— gasförmiger Körper . . . 450
— unregelmäßige, des Wassers 450
Ausdehnungscoëfficient 446
Ausflußgesetze, der Flüssigkeiten . . 150
— der Gase 174
Ausflußgeschwindigkeit 150
Ausflußmenge 153
Auslader, elektrischer 359
— Henley's 359
Axen, der Hohlspiegel 233
— der Linsen 248
— optische 312
— secundäre 254

B.

Ballistische Curve 130
Barometer 95
Barometerprobe 107
Barofkop 116
Batterie, constante 375
— elektrische 358
— Wollaston's 374
Beaume's Aräometer 80
Becquerel'sche Säule 376
Beharrungsvermögen 4
Beugung des Lichtes 301

Digitized by Google

	Seite
Bewegung, beschleunigte	123
— gleichförmige	121
Bilder der Converspiegel	240
— der Hohllinsen	257
— der Hohlspiegel	237
— der Sammellinsen	255
— ebener Spiegel	230
Blasebalg	171
Blasebalgharmonika	210
Bleiloth	5
Blitz	570
Blitzableiter	355
Blitzröhre	362
Blitztafel	362
Bodendruck	65
Bodentemperatur	530
Bodenventil	99
Bohnenberger's Elektroskop	373
Brechung des Lichtes	242
— doppelte	311
Brechungsexponent	244
Brechungsgesetz	242
Brechungswinkel	243
Brennlinie	240
Brennpunkt der Hohlspiegel	234
— der Sammellinsen	250
Brennweite	250
Brückenwage	48
Bunsen's Photometer	226
— Säule	376
Büschel, elektrische	362
Bussole	328

C.

Calmen	538
Calorie	454
Camera obscura	283
Capillarattraction	84
Capillarerscheinungen	83
Cartier's Aräometer	80
Centralbewegung	130
Centrifugalkraft	132
Centripetalkraft	131
Chemie	2
Chemische Wirkungen des Lichtes	315
— — des galv. Stromes	379
Chromatische Aberration	269
Chromatische Tonleiter	205
Circularpolarisation	313
Cirrus	552
Cohäsionskraft	12
Communicirende Gefäße	63
Commutator	416
Compas	329
Compensationspendel	447
Complementärfarben	262
Composante	16
Compressionsmanometer	114
Compressionspumpe	109

	Seite
Concavlinsen	248
Concavspiegel	233
Condensator, elektrischer	360
— bei Dampfmaschinen	475
Constante Säulen	375
Continentalklima	527
Contrastfarben	281
Converlinsen	248
Converspiegel	240
Cumulus	552
Cylindergebläse	172

D.

Dämmerung	561
Daguerreotypie	316
Dalton's Gesetz	466
Dampfbildung	457
Dampfelektrisirmaschine	349
Dampfkessel	467
Dampfmaschine	468
Daniell's Säule	376
Debuskop	231
Decimalwage	49
Declination, magnetische	328
Declinationsbussole	328
Dehnbarkeit	52
Densimeter	78
Destillation	488
Diamagnetismus	431
Diathermanität	501
Diatonische Tonleiter	204
Dichtigkeit	8
Dichtigkeitsmaximum des Wassers	450
Differentialthermometer	497
Diffusion der Flüssigkeiten	88
— der Gase	119
— der Wärmestrahlen	500
— des Lichtes	227
Digestor, Papinianischer	484
Dioptrik	242
Diosmose	89
Dispersion	267
Dobereiner's Zündmaschine	118
Doppelte Brechung	311
Doppeltsehen	275 278
Druckpumpe	100
Drucktelegraph	412
Dynamometer	53

E.

Ebene, schiefe	33
Echappement	141
Echo	194
Effect der Wasserräder	160
— — Dampfmaschinen	480
Effloresciren	85
Ei, elektrisches	363
Einfallsebene	228

Digitized by Google

Seite

Einfallsloth 228
Einfallswinkel 228
Elasticität 51
— der Flüssigkeiten 87
— der Luft 93
Elektricität 337
— gebundene 355
— positive und negative 340
— thierische 437
Elektrische Büschel 362
— Fische 437
— Flüssigkeiten 341
— Telegraphen 411
Elektrischer Geruch 364
Elektrischer Rückschlag 365
Elektrisches Licht 361
Elektrisirmaschine 346
Elektrochemische Theorie 388
Elektroden 382
Elektrolyse 382
Elektrolyte 382
Elektrolytisches Gesetz 390
Elektromagnete 409
Elektromotor 342
Elektromotorische Kraft 368
— Rheomotoren 373
Elektrophor 345
Elektroskop 342
— Bohnenberger's 373
Elektrotonischer Zustand 431
Elemente, chemische 10
— Volta'sche 370
Emanationstheorie 296
Emissionstheorie 296
Endosmose 88
Entladungsschlag 359
Erdfernrohr 292
Erdplatte 414
Erleuchtung, Intensität derselben . 224
Excentrische Scheibe 473
Expansionskraft 12
Expansionsmaschine 481
Extrastrom 426

F.

Fadenkreuz 292
Fallgesetz 123
Fallmaschine 125
Fallrinne 124
Fallröhre 109
Farben, complementäre 262
— dünner Blättchen 304
— einfache oder homogene . . . 259
— natürliche 262
— prismatische 259
— subjective oder physiologische . 281
Farbenzerstreuung 267
Federwage 52
Fernrohr 289

Seite

Fernsichtigkeit 274
Feste Körper 11
Festigkeit 53
Feuchtigkeit, atmosphärische 545
Feuerkugeln 562
Feuerspritze 111
Flammen, farbige 264
Flaschenzug 22
Fliehkraft 132
Flugrad, elektrisches 365
Fluorescenz 264
Flüssige Körper 11
Fluida, elektrische 341
— magnetische 323
Focaldistanz der Hohlspiegel 234
— der Linsen 250
Focus der Hohlspiegel 234
— der Linsen 250
Fortschreitende Schwingungen . . . 179
Franklin'sche Tafel 355
Fraunhofer'sche Linien 268
Freiwerden der Wärme 456
Fundamentalabstand 443
Fundamentalversuch, Volta's . . . 367
— Oersted's 393
Funken, elektrischer 344
Fußpfund 143

G.

Galilei's Fallrinne 124
— Fernrohr 289
Galvanische Batterie 373
Galvanische Vergoldung 388
Galvanismus 366
Galvanographie 387
Galvanometer 395
Galvanoplastik 386
Gase 11
— permanente 460
Gasometer 168
Gebläse 170
Gebundene Elektricität 355
— Wärme 454
Gefäßbarometer 96
Gehörnerv 216
Gehörorgan 215
Geruch, elektrischer 364
Gesättigter Dampf 460
Geschwindigkeit der beschleunigten Bewegung 122
Geschwindigkeit der gleichförmigen Bewegung 122
Geschwindigkeit des Lichtes 221
— des Schalles 192
Gesichtsorgan 271
Gewicht, absolutes 5
— specifisches 7
Gewichtsverlust untergetauchter Körper 71
Glaselektricität 340

Digitized by Google

Seite

Glasharmonika 208
Gleichgewicht 41
— indifferentes 42
— labiles oder veränderliches . 42
— stabiles oder festes 42
Gleitende Reibung 41
Glühen, galvanisches 379
Goldblattelektrometer 343
Gränzwinkel 244
Gramm 5
Graupelregen 558
Grove'sche Säule 376
Grundstoffe 10
Grundton 202
Gyrotrop 416

H.

Haarröhrchen 84
Hagel 558
Hahnenluftpumpe 107
Halbkugeln, Magdeburgische . . . 108
Halbschatten 222
Hammer, elektromagnetischer . . . 424
Harzelektricität 340
Haspel 30
Hauptspirale 422
Hebel 23
— einarmiger 26
Hebelarm 25
Heber 101
Heberbarometer 96
Heliostat 230
Hemmung 141
Henley's Auslader 359
Heronsball 110
Heronsbrunnen 112
Höfe 565
Hörrohr 195
Hochdruckmaschine 468
Hohllinsen 253
Hohlspiegel 233
Holländisches Fernrohr 289
Hufeisenmagnet 325
Hydraulische Presse 61
Hydroelektrische Ströme 373
Hydrostatik 60
Hygrometer 545
Hygroskopische Körper 118
Hyromochlion 25

J.

Jahreszeiten 515
Imponderabilien 12
Inclination, magnetische 329
Inclinationsnadel 330
Inclinatorium 330
Induction, elektrische 420
Intensität des Erdmagnetismus . . 332
— der Erleuchtung 224

Seite

Intensität der Töne 192
Interferenz der Lichtwellen 299
Interferenzerscheinungen 296
Intervall 204
Irrlichter 566
Isochimenen 526
Isoclinische
Isodynamische } Linien 576
Isogonische
Isolatoren, elektrische 339
Isolirschemel 339
Isotheren 526
Isothermen 523

K.

Kälte durch Verdampfung 496
Kältemischungen 455
Kaleidoskop 231
Katoptrik 227
Kaustische Linien 240
Kehlkopf 213
Keil 38
Kernschatten 222
Kilogramm 6
Kilogrammometer 143
Kitten 57
Klangfiguren 187
Knotenlinien 188
Knotenpunkte 186
Körper 1
Kohlenlicht, elektrisches 379
Kolbenrohr 99
Kräfte 11
Kreuzungspunkt 278
Kryophor 485
Krystallisation 57
Küstenklima 523
Kurzsichtigkeit 271

L.

Landwind 537
Latente Wärme der Dämpfe . . . 486
— — der Flüssigkeiten . . . 454
Lebendige Kraft 145
— — der Wassergefälle . . . 158
Leere, Toricelli's 95
Leiter der Elektricität 338
— der Wärme 504
Leitungswiderstand, elektrischer, der Flüssigkeiten 406
Leitungswiderstand, elektrischer, der Metalle 405
Leimen 57
Leydener Flasche 357
Licht 221
— Brechung desselben 242
— elektrisches 379
— — im leeren Raume . . . 363
— homogenes 260

Digitized by Google

Seite

Licht, Reflexion desselben 227
Lichtäther 296
Lichtbogen, galvanischer 379
Lichtwellen, Länge derselben 303
Linsen 247
— achromatische 270
Linsenbilder 255
Locomotive 477
Löthen 57
Loupe 284
Luft 92
— Druck derselben 93
— Elasticität derselben 93
— Schwere derselben 92
Luftballon 115
Luftpumpe 105
Luftwellen, stehende 196

M.

Magdeburger Halbkugeln 108
Magnete, künstliche 321
— natürliche 321
Magneteisenstein 321
Magnetische Armaturen 326
— Curven 576
— Flüssigkeiten 323
— Polarität 322
— Wirkungen des Stromes . . 393
Magnetismus 321
Magnetnadel 327
Manometer 113
Mariotte'sches Gesetz 102
Masse 6
Massentheilchen 9
Menisken 248
Meridian, magnetischer 328
Metacentrum 73
Meteorsteine 567
Meter 6
Mikroskop, einfaches 285
— zusammengesetztes 288
Mikrometerschrauben 38
Molekül 9
Molekularkräfte 51
Moment, statisches 25
Monochord 207
Morse's Drucktelegraph 412
Motoren, elektromagnetische . . . 410
Moussons 540
Multiplicator 395
Mundharmonika 210
Musikalische Töne 203
Muskelstrom 438
Myopie 275

N.

Nachbilder 281
Naturgeschichte 2

Seite

Naturgesetz 1
Naturlehre 2
Nebel 551
Nebensonnen 565
Nebenspirale 422
Nebenstrom 422
Negative Elektricität 340
Netzhaut 272
Newton'sche Ringe 304
Nicholson's Aräometer 74
Nicol'sches Prisma 314
Niederdruckmaschine 474
Nobili'sche Farbenringe 385
Nordlicht 579
Nordpol, magnetischer 322

O.

Oberschlächtige Räder 161
Obertöne 201
Objectiv des Fernrohrs 289
— des Mikroskops 288
Octave 203
Ocular, astronomisches 291
— des Fernrohrs 289
— des Mikroskops 288
— terrestrisches 288
Ohm'sches Gesetz 401
Optik 219
Optometer 275
Orgelpfeifen 200
Ozon 361

P.

Papinianischer Topf 464. 484
Parallelogramm der Kräfte . . . 16
Passatwind 538
Pendel, einfaches 134
— elektrisches 338
— zusammengesetztes 138
Pendelgesetze 135
Pendeluhr 140
Permanente Gase 460
Perpetuum mobile, elektrisches . . 373
Phenakistoskop 280
Phosphorescenz 267
Photographie 316
Photometer 225
Physik 2
Pistole, elektrische 349
Pneumatisches Feuerzeug 495
Poggendorff's Spiegelapparat . . . 230
Polarisation des Lichtes 306
— galvanische 397
Polarisationsapparat 307
Polarisationsebene 308
Polarisationswinkel 309
Polarität, magnetische 322
Polarlicht 581

Digitized by Google

Seite

Pole, magnetische 322
— — der Erde 330
— der Volta'schen Säule . 372. 378
Poncelet'sche Räder 160
Porosität 9
Positive Elektricität 340
Presbyopie 275
Presse, hydraulische 61
Prismatische Farben 259
Prismen 245
— achromatische 268
Psychrometer 548
Pumpen 98

Q.

Quart 203
Quellentemperatur 530
Quint 203

R.

Räderwerke 31
Reflexion der Wärmestrahlen . . . 500
— des Lichtes 227
— des Schalles 193
— totale 245
Reflexionsebene 228
Reflexionswinkel 228
Regen 554
Regenbogen 562
Regenbogenfarben 259
Regenmesser 554
Regulator der Dampfmaschinen . . 474
— für Gebläse 173
Reibung, gleitende 146
— wälzende 148
— Nutzen und Anwendung ders. 149
Reibungscoëfficient 147
Reibungselektricität 337
Resonanz 211
Resonanzboden 212
Resultirende 16
Retina 272
Rheomotoren 373
Ringe, Newton'sche 304
— Nobili'sche 385
Rolle 20
Rotation, elektro-magnetische . . . 419
Rotationsmaschine, magneto-elektrische 429
Rückschlag, elektrischer 365
Ruhmkorff's Inductionsapparat . . 425
Rumford's Photometer 225

S.

Saccharometer 314
Säule, Becquerel'sche 376
— Bunsen'sche 376
— constante 375
— Daniell'sche 376

Seite

Säule, Grove'sche 376
— trockne 378
— Volta'sche 372
Säuren 389
Saiten 206
Salzbasen 389
Sammelbilder der Concavspiegel . . 237
— der Converlinsen 256
Sammellinsen 248
Sammelspiegel 233
Saugen 156
Saugpumpe 98
Saugrohr 99
Scalenaräometer 76
Schallgeschwindigkeit 192
Schallwellen 190
Schatten 221
Schiefe Ebene 38
Schmelzpunkt 453
Schnee 557
Schneegränze 531
Schnellwage 26
Schottische Turbine 165
Schraube 35
Schraubengang 35
Schraubenmutter 36
Schraubenpresse 37
Schraubenspindel 36
Schwere 4
Schwerpunkt 39
Schwimmen 72
Schwingungen, fortschreitende . . . 179
— stehende 179
Schwingungspunkt 138
Schwingungszahl musikalischer Töne 205
Schwungkraft 132
Schwungmaschine 133
Seewind 537
Secundäre Axen 254
Segner's Wasserrad 158
Seilwellen 184
Seitendruck 68
— bewegter Flüssigkeiten . . . 157
Seitenkräfte 16
Sicherheitsröhre 114
Sicherheitsventil 114
Siedepunkte 485
— Abhängigkeit vom Druck . . 482
Sinsteden's Inductionsapparat . . . 425
Solenoid 416
Sonnenmikroskop 287
Spannkraft der Dämpfe 458
— der Luft 93
— der Wasserdämpfe 463
Specifisches Gewicht 7
Specifische Wärme 492
Spectralanalyse 264
Spectrum 258
Sphärische Aberration der Hohlspiegel 235
— — der Linsen 250

Digitized by Google

Seite
Spiegel, ebene 229
— gekrümmte 232
— sphärische u. parabolische . . 232
Spiegelapparat, Poggendorff's . . . 230
Spiegelmetall 233
Spiegelsextant 230
Spiegeltelescop 294
Spiegelungsgesetz 228
Spitzen, elektrische Wirkung der. . 354
Sprachrohr 195
Sprödigkeit 52
Strommender 416
Stabilität 44
Standfernrohr 292
Statisches Moment 25
Stechheber 101
Stehende Luftwellen 196
— Schwingungen 179
Stereoskop 279
Sternschnuppen 567
Steuerung der Dampfmaschinen . . 472
Stimmbänder 213
Stimmgabel 208
Stimmorgan 213
Störungen, magnetische 332
Strahlende Wärme 496
Stroboskopische Scheibe 280
Ströme, galvanische 372
— hydroelektrische 373
— thermoelektrische 434
Stürme 542
Südpol, magnetischer 322

T.

Tabelle specifischer Gewichte . . . 586
Tangentenbussole 398
Tangentialgeschwindigkeit 131
Telegraphie, elektrische 411
Temperatur 441
— musikalische 205
Terrestrische Fernrohre 293
Terz 203
Thau 550
Theaterperspectiv 291
Theilbarkeit 9
Thermoelektricität 435
Thermoelektrische Elemente 434
— Säulen 436
— Ströme 434
Thermometer 441
Thermometerscalen 443
Thermometrograph 520
Thermomultiplicator 498
Thierische Elektricität 437
— Wärme 508
Thonzellen 376
Toise 6
Ton 192
Tonleiter 204
Seite
Toricelli's Leere 95
— Theorem 150
Tornados 543
Torsionselasticität 53
Totale Reflexion 245
Trägheit 4
Tralle's Alkoholometer 79
Trockene Säule 373
Trogapparat 374
Tromben 543
Tropfenbildung 81
Turbinen 163
Turmalinplatten 310

U.

Uebersetzung 31
Undulationstheorie 296
Undurchdringlichkeit 3
Unterbrechungsrad 424
Unterschlächtige Räder 159

V.

Variationen, magnetische 331
Ventilluftpumpen 107
Verbrennungswärme 507
Vergoldung, galvanische 388
Versilberung, galvanische 388
Vertheilung, elektrische 341
Verticale 5
Vibrationsbewegung 179
Vibrationstheorie 296
Voltameter 381
Volta's Fundamentalversuch 367
— Säule 370
Volumeter 77

W.

Wage 45
Wälzende Reibung 148
Wärme 441
— gebundene oder latente . . . 454
Wärmecapacität 493
Wärmeeinheit 454
Wärmeentwickelung durch Gasabsorption 118
Wärmeleitung 504
Wärmequellen 507
Wärmestoff 12
Wärmestrahlung 496
Wärmestrahlungsvermögen 499
Wasserdämpfe 462
Wassergehalt der Luft 549
Wasserhosen 543
Wasserräder, horizontale 163
— verticale 159
Wassersäulenmaschine 165
Wasserwage 64
Wasserwellen 181

Digitized by Google

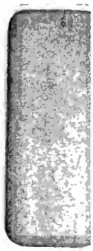
	Seite
Wasserzersetzung, galvanische	379
Weitsichtigkeit	274
Wellenlänge	184
— der Lichtstrahlen	304
— der Töne	203
Windbüchse	110
Winde	536
— Entstehung derselben	537
— in höheren Breiten	540
Windkessel	111
Windmesser	173
Winkelspiegel	231
Wolken	552
Wollaston's Batterie	374
Wunderscheibe	280
Wurfbewegung	129

Z.

	Seite
Zamboni's Säule	373
Zauberlaterne	288
Zerlegung der Kräfte	20
Zerstreuungslinsen	248
Zerstreuungsspiegel	223
Zitteraal	438
Zitterrochen	437
Zonen, klimatische	514
Zugkraftmesser	53
Zungenpfeifen	209
Zusammendrückbarkeit	9
Zusammensetzung des weißen Lichtes	260
Zusammenziehung des ausfließenden Strahles	154

Digitized by Google

Digitized by Google



41451

Digitized by Google

Digitized by Google